
CONSIDÉRATIONS sur les Scaphandriers de la Marine

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant la Faculté de Médecine de Montpellier

LE 23 JUIN 1943

par

Charles CLOATRE

Médecin auxiliaire de la Marine

Diplômé d'Hygiène de l'Université de Montpellier.

Né le 19 Juillet 1918, à Brest (Finistère).

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

Examineurs de la Thèse	{	MM. CARRIEU, professeur, <i>président.</i>	{	<i>Assesseurs.</i>
		LAMARQUE, professeur.		
		HARANT, agrégé.		
		BERT, agrégé.		

IMPRIMERIE
CAUSSE, GRAILLE ET CASTELNAU
7, rue Dom-Vaissette
MONTPELLIER

1943

**Considérations
sur les Scaphandriers de la Marine**



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555601_0046

CONSIDÉRATIONS sur les Scaphandriers de la Marine

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant la Faculté de Médecine de Montpellier

LE 23 JUIN 1943

par

Charles CLOATRE

Médecin auxiliaire de la Marine

Diplômé d'Hygiène de l'Université de Montpellier.

Né le 19 Juillet 1918, à Brest (Finistère).

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

Examineurs de la Thèse	{	MM. CARRIEU, professeur, <i>président.</i>	{	<i>Assesseurs.</i>
		LAMARQUE, professeur.		
		HARANT, agrégé.		
		BERT, agrégé.		

IMPRIMERIE
CAUSSE, GRAILLE ET CASTELNAU
7, rue Dom-Vaissette
MONTPELLIER

1943

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

Professeurs

Chaires:

Anatomie.	MM. J. DELMAS.
Histologie.	TURCHINI.
Physiologie.	HEDON.
Chimie biologique médicale et toxicologie	CRISTOL.
Physique médicale	PECH
Anatomie pathologique et médecine expérimentale.	BAUMEL.
Microbiologie.	LISBONNE.
Pathologie et thérapeutique générales	PAGES.
Thérapeutique et matière médicale.	JANBON.
Hydrologie thérapeutique et climatologie.	PUECH.
Hygiène.	CARRIEU.
Médecine légale et médecine sociale	VIDAL.
Pathologie médicale et clinique propédeutique . . .	BOULET.
Clinique médicale	L. RIMBAUD.
Clinique chirurgicale	GIRAUD, <i>doyen</i> .
Clinique obstétricale	MASSABUAU, <i>assesseur</i> .
Clinique des maladies mentales et nerveuses	LAPEYRE.
Clinique des malad. des enfants et hyg. du 1 ^{re} âge.	P. DELMAS.
Clinique de dermato-syphiligraphie	EUZIERE, <i>doyen honor.</i>
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie. . . .	BOUDET.
Clinique des maladies des voies urinaires	MARGAROT.
Clinique gynécologique	ETIENNE.
Clinique ophtalmologique.	JEANBRAU.
Clinique d'oto-rhino-lar. et chir. maxillo-faciale.	N
	DEJEAN.
	TERRACOL.

Charges de cours:

Anatomie.	LAUX.
Histologie.	GRANEL.
Radiologie.	LAMARQUE.
Propédeutique chirurgicale	AIMES.

Professeurs honoraires

MM. TEDENAT, BERTIN-SANS, CABANNES
GALAVIELLE, VIRES, BOSC, VILLARD, GRYNFELTT, RICHE.

Chargés d'enseignements complémentaires

Chimie.	MM. MONNIER, <i>agrégé</i> .	Clinique de la tu-	MM.
Microbiologie.	CARRERE, <i>agrégé</i> .	berculose.	VIDAL, <i>professeur</i>
Histoire nat. méd.	HARANT, <i>agrégé</i> .	Pathologie chirurg.	MOURGUE-
Pharmacologie.	HARANT, <i>agrégé</i> .		MOLINES, <i>agr.</i>
Pathologie médic.	BOUCOMONT, <i>agr.</i>		TRUC, <i>agrégé</i> .
	BERT, <i>agrégé</i> .	Chirurgie experim.	GUIBAL, <i>agrégé</i> .
Propédeutique méd.	P. RIMBAUD, <i>agr.</i>	Médecine opératoire	ROUX, <i>agrégé</i> .
Clinique interne	PUECH, <i>profess.</i>	Accouchements. . .	CADERAS
Clinique des mala-		de KERLEAU, <i>agr.</i>	
dies contagieuses.	JANBON, <i>profess.</i>	Stomatologie. . .	HOUPERT, <i>Dr en Méd.</i>

Agrégés en exercice

Médecine.	MM. P. RIMBAUD.	Chirurgie.	MM. MOURGUE-
	BOUCOMONT.		MOLINES.
	BERT.		GUIBAL.
	LAFON, <i>ch. d'agr.</i>		ROUX.
Chimie.	MONNIER.	Urologie.	TRUC.
Bactériologie.	CARRERE.	Accouchements . .	CADERAS
Histoire nat. méd. . . .	HARANT.		de KERLEAU.



A LA MEMOIRE DE MON PERE

A MA MERE

A MA FEMME

A MON FILS

A MA BELLE-MERE

A TOUS MES PARENTS

A MES AMIS

A MES MAITRES
DE LA FACULTE ET DES HOPITAUX
DE BORDEAUX

A MES MAITRES
DE LA FACULTE ET DES HOPITAUX
DE MONTPELLIER

A MES CHEFS ET PROFESSEURS
DE L'ECOLE ANNEXE DE MÉDECINE NAVALE DE BREST,
DE L'ECOLE PRINCIPALE DU SERVICE DE SANTÉ DE LA MARINE
ET DES TROUPES COLONIALES
DE L'ECOLE D'APPLICATION DU SERVICE DE SANTÉ
DE LA MARINE

A MONSIEUR LE MEDECIN-GENERAL SOLCARD
ASSOCIÉ NATIONAL DE L'ACADÉMIE DE CHIRURGIE
DIRECTEUR DE L'ECOLE PRINCIPALE DU SERVICE DE SANTÉ
DE LA MARINE ET DES TROUPES COLONIALES
OFFICIER DE LA LÉGION D'HONNEUR
CROIX DE GUERRE

A MONSIEUR
LE MEDECIN EN CHEF DE 2^m CLASSE PIROT
PROFESSEUR D'ÉPIDÉMIOLOGIE ET D'HYGIÈNE NAVALE
A L'ECOLE D'APPLICATION DU SERVICE DE SANTÉ
DE LA MARINE
CHEF DU LABORATOIRE DE BACTÉRIOLOGIE
DE L'ARRONDISSEMENT MARITIME DE TOULON
CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR

*Qui a bien voulu nous inspi-
rer le sujet de cette thèse,
avec nos remerciements res-
pectueux.*

A MONSIEUR LE MEDECIN PRINCIPAL
PENNANEACH
CHEF DE TRAVAUX DE BACTÉRIOLOGIE
CHARGÉ D'ENSEIGNEMENT A L'ECOLE D'APPLICATION
DU SERVICE DE SANTÉ DE LA MARINE
LAURÉAT DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR

*Qui nous a permis par ses
conseils de mener à bien cette
thèse et auquel nous tenons à
exprimer notre vive reconnais-
sance pour les directives qu'il
nous a données et pour la
grande bienveillance qu'il eut
toujours à notre égard.*

A NOTRE MAITRE ET PRESIDENT DE THESE
MONSIEUR LE PROFESSEUR CARRIEU
PROFESSEUR D'HYGIÈNE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE
DE MONTPELLIER

En hommage de respectueuse gratitude pour l'honneur qu'il nous a fait d'accepter la présidence de cette thèse.

A NOS JUGES

Considérations sur les Scaphandriers de la Marine

INTRODUCTION

Les travaux sous-marins, d'importance primordiale dans la Marine de guerre, n'intéressent toutefois qu'une minorité de personnel, ces opérations étant confiées à des spécialistes. Les appareils, en service courant, sont peu nombreux; toutefois, depuis quelques années, l'attention a été attirée sur la nécessité de prévoir des appareils apportant une sécurité nouvelle aux équipages des sous-marins; de plus, des appareils légers ont été étudiés récemment pour des travaux de courte durée, par faible profondeur.

La chasse sous-marine, elle-même, a fait adopter un outillage nouveau en rien comparable à celui des anciens scaphandres. Nous résumerons dans ce travail les problèmes généraux ayant trait au personnel, au travail, aux appareils, aux accidents et à leur prophylaxie.

Les appareils actuels seront encore perfectionnés dans un avenir proche: les guerres modernes, entraînant des pertes en tonnage considérables, imposeront des récupérations qui ne seront possibles que grâce au concours de scaphandriers. Les mouvements de troupes en campagne imposant la mise en place de ponts, de passerelles, d'ouvrages divers en bordure de fleuves, de lacs, de la mer, justifient encore l'utilisation de scaphandriers.

CHAPITRE PREMIER

RAPPEL PHYSIOLOGIQUE

L'homme, vivant normalement à la surface du sol, est soumis à une certaine pression exercée sur son corps par la masse de l'atmosphère, cette pression, égale à 1 kilog. 033 par centimètre carré de surface au niveau de la mer, écraserait l'homme, si elle n'était exactement compensée à l'intérieur de l'organisme, par la solubilité des gaz atmosphériques et plus particulièrement de l'oxygène dans le sang, par le mécanisme de la respiration. On peut considérer l'air atmosphérique comme formé de quatre parties d'azote et une partie d'oxygène, les autres gaz (gaz rares, anhydride carbonique) sont en quantité négligeable dans les conditions normales.

Lorsque le scaphandrier plonge, il s'immerge à des profondeurs croissantes et supporte des pressions extérieures, d'autant plus fortes que la profondeur augmente; cette augmentation de pression est de 100 grammes par mètre de profondeur, donc de 1 kilog par 10 mètres.

Un scaphandrier supporte donc, à 10 mètres de profondeur, une pression de :

1 kilog par cm^2 due à la colonne d'eau + 1 kilog par cm^2 de pression atmosphérique, soit 2 kilogs par cm^2 .
De même à 20 mètres il supportera :

$$2 \text{ kg.} + 1 \text{ kg.} = 3 \text{ kg. par cm}^2$$

$$\text{A 30 mètres: } 3 \text{ kg.} + 1 \text{ kg.} = 4 \text{ kg. par cm}^2.$$

Etc., etc...

Pour qu'il ne soit pas écrasé par cette pression, il faudra que la pression intérieure de l'habit, réalisée par l'envoi d'air comprimé, soit au moins égale à la pression extérieure.

Si l'on étudie les gaz contenus dans le sang, chez l'individu soumis à la simple pression atmosphérique, on voit que l'oxygène s'y trouve sous deux formes: l'oxygène dissout dans le plasma et l'oxygène combiné à l'hémoglobine des hématies; la saturation des globules rouges en oxygène croît très rapidement, elle est complète vers 150 mm. de mercure, c'est-à-dire pour la pression partielle de l'oxygène dans l'air à la pression atmosphérique; à ce moment les globules rouges contiennent une quantité d'oxygène égale à 200 cm³ par litre de sang. Quant à l'oxygène du plasma, il est dissout proportionnellement à sa pression dans l'alvéole pulmonaire selon la loi de Henry: « A une température donnée, la masse de gaz, dissoute dans l'unité de volume du liquide, est proportionnelle à la pression que le gaz exerce sur le liquide ». Cet oxygène dissout est en quantité minime par rapport à l'oxygène combiné sous forme d'oxyhémoglobine, cette quantité n'est en effet que de 3 cm³ 6 par litre de sang, à la pression atmosphérique.

L'anhydride carbonique, libéré par les cellules de l'organisme se dissout dans le plasma, mais est fixé, en très grande partie, par les carbonates alcalins du sang, sous forme de bicarbonates et d'autres formes plus complexes.

L'azote se dissout également dans le sang, à raison de 15 cm³ par litre de sang, c'est-à-dire quatre fois plus

que l'oxygène dissout, puisque dans l'atmosphère, la pression partielle de l'azote est quatre fois plus grande que celle de l'oxygène.

Ces différents gaz obéissent donc aux lois de Henry et de Dalton, sur la solubilité des gaz dans les liquides ; nous allons étudier leur comportement au cours des deux principales phases de la plongée : la descente et la remontée.

Lorsque le scaphandrier plonge, il est, du fait de son immersion, soumis à une pression supérieure à la pression atmosphérique, il en résulte que :

L'oxygène dissout augmente proportionnellement à sa pression partielle et est entièrement brûlé par les combustions, car ces dernières sont d'autant plus rapides, que l'apport en oxygène est plus grand, cela jusqu'à une certaine limite, au-dessus de laquelle, l'oxygène dissout, agit, vis-à-vis des tissus, comme un caustique ; on verra plus loin les accidents qu'il peut produire lorsqu'il se trouve à une très grande pression, réalisable seulement lors des descentes à des profondeurs, pratiquement jamais atteintes par le scaphandre souple, ou lors de descentes à des profondeurs normales, réalisées avec les appareils autonomes qui utilisent l'oxygène, sous pression, pour renouveler l'atmosphère de l'habit du scaphandrier.

Le rôle de l'oxygène globulaire n'est pas à envisager, son taux étant constant, les globules rouges étant déjà saturés à la pression atmosphérique.

Quant à l'anhydride carbonique, son dégagement ne devient dangereux que lorsque la profondeur atteinte est trop grande, car elle s'accumule alors dans le sang en quantité dangereuse, la réserve alcaline se trouvant insuffisante pour la neutraliser.

L'azote s'est également dissout dans le sang, proportionnellement à sa pression partielle, on sait qu'à la pression atmosphérique il y en a déjà 15 cm^3 par litre de sang. A 30 mètres de profondeur, par exemple, il y aura $15 + (15 \times 3) = 60 \text{ cm}^3$ d'azote dissout par litre de sang. Cet azote, inutile à la vie, va se fixer électivement dans les graisses de l'organisme où il se dissout.

Le scaphandrier remontant, est soumis à des pressions qui diminuent progressivement, et les pressions partielles des différents gaz diminuant, ils sont de ce fait solubles en moins grande quantité dans les humeurs de l'organisme et se libèrent de leurs combinaisons, formant des bulles gazeuses dans le sang et dans les divers tissus. Seul le cas de l'azote nous intéresse, l'excès d'oxygène ayant disparu par suite des combustions, l'excès d'anhydride carbonique étant neutralisé par les substances tampons. L'atmosphère extérieure redevenant normale, la pression partielle interne de l'azote est naturellement bien supérieure à la pression de l'azote atmosphérique, le sang et les tissus sont donc sursaturés d'azote et des bulles commencent à se former, bulles constituées surtout par de l'azote, mais contenant aussi de l'oxygène et du gaz carbonique, qu'elles prennent dans le sang et dans les tissus. Si ces bulles se forment dans le sang, elles tendent à bloquer la circulation par suite de la grande résistance qu'elles lui opposent.

Les bulles se forment non seulement dans le sang, mais aussi dans les tissus, ceci s'explique par la grande solubilité de l'azote dans les graisses, la tendance des matières grasses à agir comme réservoir d'azote est ainsi compréhensible et il a été expérimentalement prouvé que les animaux gras, toutes choses égales d'ailleurs,

sont bien plus sujets au mal des plongées que les animaux maigres. Non seulement les graisses ordinaires, mais aussi les gaines de myéline des fibres nerveuses sont des réservoirs d'azote dissout et pour cette raison les bulles tendent à se former dans la substance blanche du cerveau, de la moëlle épinière et à l'intérieur des gaines de myéline des gros nerfs.

La quantité croissante d'azote, dissout dans le sang, lorsque la pression extérieure augmente, a été démontrée par Paul Bert. Hill et Greenwood ont non seulement confirmé ce résultat mais ils ont aussi montré que le même excès existait dans l'urine. Hill et Macleod ont également observé directement l'apparition soudaine de bulles de gaz dans les capillaires des palmes de la grenouille, quand l'animal était décomprimé, à partir d'une pression extérieure élevée. Il faut aussi noter les expériences d'Armstrong (1939) qui, étudiant les effets de la dépression atmosphérique sur les animaux, constata le dégagement de bulles d'azote dans le tissu nerveux, les tissus périarticulaires et le liquide céphalo-rachidien à une altitude de 6.000 mètres, dans le sang des artérioles des capillaires et des veines à partir de 9.000 mètres, c'est ce qu'il désigne sous le nom d' « Aero-embolism ».

Nous comprenons maintenant les problèmes physiologiques spéciaux présentés par les organismes soumis aux différences de pression, au cours des plongées sous-marines.

Les accidents à redouter sont essentiellement ceux provoqués par les gaz du sang, nous les étudierons dans les chapitres ultérieurs.

CHAPITRE II

UTILISATION DES SCAPHANDRIERS

Il existe un certain nombre d'opérations pour lesquelles les marines doivent disposer de scaphandriers ; parmi ces travaux, les plus importants et les plus usuels, ceux qui se voient tous les jours, dans un arsenal et en mer sont :

1° Travaux d'exploration et d'entretien :

— Visite des hélices, dégagement des câbles qui s'y sont enroulés, accident relativement fréquent, nécessitant l'arrêt du navire qui ne gouverne plus, du moins s'il n'a qu'une hélice, car la faire tourner peut rompre l'arbre de couche ;

— Visite de crépines bouchées ;

— Visite de tuyautages encombrés de salissures ;

— Visite de la coque à la suite d'un échouage.

Autant de travaux d'exploration qui risquent d'entraîner le passage du bâtiment en cale sèche et de l'immobiliser pour un certain temps.

— Visite des corps morts et des chaînes les reliant aux coffres d'amarrage ;

— Exploration des digues, môles, quais, piliers de ponts, portes de bassins, fonds de rade, etc...

2° *Recherches d'objets tombés à la mer :*

— Ancres : Celles-ci peuvent rester au fond soit par mauvais temps par suite de la rupture d'une chaîne, ou bien, mouillées sur un fond de roche, elles ne peuvent être relevées et le scaphandrier devra aller frapper un câble, sur une des pattes de l'ancre, pour permettre de la dégager ;

— Torpilles : Au cours d'exercices de lancer de torpilles, tant par navire, que par hydravion torpilleur, ou au cours d'essais de la station d'atelier des torpilles, il arrive que les torpilles d'exercice coulent ;

— Noyés : Lorsqu'un individu tombé à la mer coule brusquement et que son point d'immersion a été repéré avec suffisamment de précision, le scaphandrier pourra le retrouver et le ramener à la surface avec parfois quelque chance de le sauver ;

— Objets divers, d'une valeur reconnue, tombés à la mer, soit du bord, soit des quais et ne pouvant être récupérés d'une autre manière.

3° *Travaux sous-marins :*

— Sauvetage des sous-marins : Entreprise particulièrement difficile et délicate, posant des problèmes nombreux (étude des lieux, des fonds, des courants, des marées), exigeant des moyens considérables, beaucoup de chance ; nécessitant, pour être menée à bien, un concours de circonstances qui malheureusement se présente trop rarement lors du naufrage de ces bâtiments. Opérations que le public, mal informé, interprète avec trop de complaisante fantaisie. Citons une tentative couronnée de succès, au cours de laquelle, les scaphandriers de la Marine américaine réussirent à passer des aussi-

res sous un de leurs sous-marins, naufragé par 90 mètres de fond, à Honolulu, en 1915. Par contre, les échecs sont nombreux, tels celui du « Prométhée », coulé le 15 juillet 1932 au large du Cotentin, par 80 mètres de fond après, semble-t-il, une fausse manœuvre de plongée, panneaux ouverts; celui du « Phénix », du sous-marin anglais « Thétys », du sous-marin suédois « Ulven »;

— Obstruction de voies d'eau, sur les bâtiments naufragés, permettant ensuite leur renflouement ou leur déséchouage;

— Changement de pelle d'hélice, lorsque cette dernière est à pelles démontables et que l'une d'elles s'est brisée, par suite d'une circonstance fortuite;

— Nécessité de changer une tôle, alors que le navire est loin de toute forme de radoub susceptible de le recevoir ou que celles-ci sont déjà encombrées.

CHAPITRE III

PERSONNEL

Les scaphandriers utilisés dans la marine appartiennent à trois sortes de service :

- 1° Equipages de la Flotte ;
- 2° Direction du port ;
- 3° Arsenaux et travaux maritimes.

1° *Equipages de la Flotte :*

Sauf de très rares exceptions, où le certificat a pu être provisoirement délivré par un bâtiment à des plongeurs de son équipage, formés au cours de campagnes lointaines, tous les scaphandriers de la Marine sont titulaires d'un certificat délivré à la fin d'un cours, par une commission d'examen, siégeant à Toulon, périodiquement, à l'Ecole des Mécaniciens, Chauffeurs et Scaphandriers.

Recrutement. — Les élèves, tous volontaires, sont de deux catégories :

a) Un certain nombre appartient déjà à l'Ecole des mécaniciens, où ces sujets préparent différents brevets ; ils subissent les examens du certificat de scaphandrier à l'issue de leur période d'instruction ;

b) La seconde source de recrutement est constituée par tous les services de la Marine, navigant ou non. Elle fournit des second-mâîtres, des quartier-mâîtres,

des brevetés, de toutes les spécialités, à l'exception du personnel de l'Aéronautique.

Pour ces hommes, la période d'instruction est de deux mois, les examens ont lieu quand ils réunissent vingt heures de plongée au moins, dont une de 25 mètres et qu'ils possèdent l'instruction théorique.

Conditions d'aptitude. — Le candidat scaphandrier doit réunir les conditions suivantes :

- a) Avoir moins de 33 ans ;
- b) Avoir au moins un an de service à accomplir à la sortie du cours ;
- c) Avoir une excellente santé : absence d'affections chroniques des appareils respiratoires et cardiovasculaires, de l'axe cérébrospinal, du rhinopharynx, de l'oreille moyenne et interne, absence de néphrite chronique et de tendance exagérée à l'obésité.

Sélection médicale. — Ces sujets doivent être examinés avec tout le soin désirable en faisant appel, au besoin, aux moyens d'investigation clinique que présentent les centres hospitaliers voisins. Les textes fixant les conditions d'aptitude ne sont pas suffisamment explicites, les candidats au moment de la constitution de leur dossier ne subissent souvent qu'un contrôle insuffisant : ils devraient, en plus des visites médicales ordinaires, s'assurant par leur examen physique et par l'examen de leur livret médical de leur bon état apparent, être l'objet :

- d'un examen radiographique pulmonaire et cardiaque systématique ;
- d'un examen d'un oto-rhino-laryngologiste, si possible dans les hôpitaux de la Marine, statuant sur leur aptitude à suivre le cours ;
- d'un examen d'urine ;
- d'une prise de la tension artérielle.

Surveillance médicale. — Plus tard, le personnel, titulaire du certificat de scaphandrier de la Marine, réparti dans les différents services et unités de la Marine, doit être soumis tous les trois mois à un examen médical complet, portant sur tous les organes et en particulier sur les appareils respiratoires et circulatoires.

Pour les plongées à une profondeur supérieure à 35 mètres, ces sujets ne doivent revêtir l'habit de scaphandre qu'après examen médical et la présence d'un médecin est obligatoire pendant toute la durée de la plongée.

Tout homme ayant atteint l'âge de 45 ans ne peut être employé à des travaux sous-marins.

2° *Direction du port :*

La direction du port, service assurant les mouvements du port, a, elle aussi, besoin de scaphandriers pour mener à bien ses différents travaux.

Recrutement. — Dans chaque port, les sujets volontaires, appartenant à ce service et susceptibles d'être utilisés aux travaux sous-marins, sont groupés en équipes, qui seront réservées à ce travail spécialisé et ne contribueront pas au service général.

Ces hommes sont soumis aux conditions d'admission prévues pour le personnel des *Equipages de la Flotte*.

Formation. — Ils ne suivent pas à proprement parler un cours de scaphandrier, leur formation est plutôt personnelle, le sujet reconnu apte médicalement à l'emploi de scaphandrier est autorisé à plonger sous la surveillance d'un chef d'équipe, quand il est suffisamment entraîné, il concourt progressivement aux travaux courants et après une plongée effectuée à 25 mètres, on estime que, sauf contre-indication médicale, le scaphandrier peut participer aux travaux divers.

Surveillance médicale. — Ces hommes sont soumis à une surveillance médicale, identique à celle des scaphandriers des équipages de la Flotte, avec la seule différence qu'ils peuvent être employés aux travaux sous-marins jusqu'à l'âge de 50 ans, sous réserve qu'après l'âge de 45 ans les plongées ne dépassent pas la profondeur de 18 mètres et que le maintien dans cette spécialité soit renouvelé d'année en année.

3° Arsenaux et travaux maritimes:

Une troisième catégorie de scaphandriers, utilisés par les industries navales et les travaux maritimes, est recrutée parmi les ouvriers des arsenaux, ces hommes font dans leurs services un stage d'instruction qui durerait 6 mois, mais qui est actuellement abaissé à deux mois, ils sont soumis aux mêmes conditions d'admission et à la même surveillance médicale que les scaphandriers de la Direction du port, surveillance qui sera effectuée par les médecins des ambulances de l'arsenal.

CHAPITRE IV

FONCTIONNEMENT DE L'ECOLE DES SCAPHANDRIERS

Cadres :

L'école des scaphandriers est dirigée par l'Ingénieur Mécanicien Général, Directeur de l'Ecole des Mécaniciens et Chauffeurs, qui confie l'instruction des élèves scaphandriers à un officier des équipages mécanicien de 1^{re} classe, celui-ci dispose du personnel suivant :

- 1 maître-mécanicien ;
- 2 second-mâîtres scaphandriers ;
- 4 quartier-mâîtres scaphandriers.

Ce personnel, recruté au choix, est affecté à l'instruction pendant 3 ans et demeure, comme d'ailleurs tout scaphandrier, soumis à la visite médicale trimestrielle dont dépend essentiellement son maintien au poste d'instructeur.

Surveillance médicale :

On a déjà vu les conditions d'aptitude requises, au point de vue médical, des candidats scaphandriers. Dès leur arrivée à l'école, ils passent une visite très sérieuse qui ne devrait servir qu'à l'élimination des sujets atteints d'une affection postérieure à l'examen médical, préliminaire, auquel ils ont été soumis dans leurs diffé-

rents services, avant d'être dirigés sur l'école, mais cet examen, souvent trop superficiel, permet d'expliquer le déchet énorme éliminé dès la visite d'arrivée. Nous retrouvons ainsi pour la période allant de décembre 1932 à février 1934, et correspondant à 9 sessions d'instruction, 111 candidats présentés :

Éliminés à la visite d'arrivée: 24.

Hypertension	4
Constitution insuffisante	3
Anneaux inguinaux élargis ou hernies	7
Antécédents pulmonaires	2
Angines et rhinopharyngites à répétition	1
Laryngite à répétition	1
Lésions articulaires	2
Lésions nasales	2
Hypertrophie amygdalienne	2

Éliminés en cours d'instruction: 7.

Troubles auditifs à la plongée	5
Emotivité à la plongée	1
Dyspnée	1

Dans certains cas, les candidats peuvent être renvoyés à une session ultérieure : convalescents d'affections aiguës; insuffisance de développement chez de jeunes sujets; affections aiguës en cours, telles que bronchites, affections du rhinopharynx, affections vénériennes aiguës, etc...

L'éducation des scapandriers doit être suivie de très près par le service médical qui doit donner des conseils pratiques sur l'hygiène du plongeur et sur les dangers que présentent, en particulier, les écarts de régime et les excès de toute sorte.

Instruction:

L'instruction des candidats scaphandriers nécessite l'emploi d'un matériel spécial.

Locaux et matériels. — L'école des scaphandriers siège à l'Ecole des Mécaniciens, installée actuellement en face de Toulon, à St-Mandrier, dans les locaux de l'ancien hôpital maritime; les candidats y reçoivent, dans des locaux appropriés, les premiers rudiments d'une instruction théorique, ensuite ils sont surtout formés, en plein air, tant au point de vue technique, qu'au point de vue purement pratique, dans l'arsenal principal de Toulon, le long du quai Est de l'angle Robert où l'école dispose:

— d'une cuve cylindrique de 3 m. 50 de hauteur et d'une capacité de 40 tonnes d'eau, servant aux premières plongées;

— d'un local servant d'atelier de menues réparations;

— d'un magasin pour le matériel d'instruction et de rechange; remarquons que l'instruction ne prévoit que l'emploi du scaphandre souple Rouquarol-Denayrousse;

— de deux pontons, de 8 m. 50 sur 4 m. 50 comprenant chacun deux postes de plongée et permettant chacun de faire plonger deux scaphandriers à la fois;

— d'une chaloupe « de scaphandre », c'est-à-dire pourvue d'une pompe, d'un appareil de scaphandrier complet et susceptible d'être remorquée à petite distance, dans la rade;

— d'un petit chalutier en bois, à moteur: l'« Aster », ancien dragueur de mines, d'une longueur de

28 m. 50, d'une largeur de 4 m. 50 et d'un tirant d'eau de 2 m. 10. Ce petit bâtiment comporte deux postes de plongeur et est utilisé pour les plongées en eau profonde (plongées de fin de cours, à 25 mètres dans la rade de Toulon, en face de St-Mandrier). Un petit magasin, sous la passerelle, contient des appareils de secours, Panis, Nicloux-Legendre, boîte de secours), une réserve d'oxygène (pour les bouteilles de Nicloux et Legendre).

Ce petit chalutier, dont les appareillages demeurent toujours limités, ne possède malheureusement pas de chambre de recompression.

— Les scaphandres, actuellement utilisés, sont ceux du type Rouquayrol-Denayrousse que nous décrirons dans un chapitre ultérieur. Toutefois la Marine, après enquête et rapport de M. le Médecin-chef Hederer, professeur d'Hygiène Navale à l'Ecole d'Application du Service de Santé de la Marine, a fait l'acquisition de deux appareils allemands de scaphandre autonome Draeger, l'un d'eux appartient à l'Ecole des Mécaniciens, l'autre a été remis à la Direction du Port de Toulon, dont les scaphandriers reçoivent une formation préalable à l'Ecole des Mécaniciens, en vue d'utiliser aussi fréquemment que possible cet appareil, dont la généralisation est possible dans les années à venir.

Enseignements:

Enseignement théorique. — L'enseignement comporte plusieurs leçons et les premières plongées ne sont effectuées que lorsque le candidat scaphandrier est en possession de toutes les données théoriques indispensables, ces dernières lui sont fournies par l'étude du

« Manuel du scaphandrier », qui comporte des généralités sur les appareils plongeurs, des considérations sur les effets physiques et physiologiques de la plongée, la description du scaphandre Rouquayrol-Denayrouse, de la pompe à air à 2 corps et à 3 corps, réservoirs, essais à leur faire subir, usage de ces appareils, avaries, entretien et réparations. Hygiène générale et hygiène spéciale aux scaphandriers. Soins à donner aux plongeurs en cas d'accident. Dans son ensemble, ce manuel est parfaitement rédigé, simple et à la portée des hommes à instruire.

Enseignement pratique. — Ecole à sec: description du matériel, mesures d'hygiène, soins en cas d'accidents. Le candidat apprend à s'habiller, à respirer dans l'habit, à manœuvrer la pompe à air, il s'entraîne à répéter les signaux généraux.

Plongée à la cuve: cet exercice, qui est fait deux fois, consiste à entrer dans l'eau de la cuve, y enfoncer la tête en se tenant sur les premières marches de l'échelle, manœuvrer la soupape à air, faire des signaux, en recevoir, descendre au fond de la cuve, y répéter les mêmes manœuvres, faire des mouvements de bras et de jambes, demander plus ou moins d'air pour se rendre compte des effets de la pompe.

Plongées le long des pontons à 10 mètres: le sujet s'entraîne à faire, au fond, des séjours de durée progressivement croissante.

Travaux sous-marins divers: confection de nœuds, sectionnement d'amarres, de câbles en fil d'acier; travaux de clouage de tôles, confection de joints, assemblage de planchettes et calfatage, élingage de pièces diverses: d'ancre, de torpille représentée par un gros cylindre métallique.

Exercices de recherche d'objets jetés à la mer : travail sur la coque de l' « Aster » : visite de l'hélice, des crépines, du gouvernail, brossage de la coque.

Exercices d'orientation, plongées avec courant, descentes à des profondeurs de 25 mètres : elles se font au milieu de la rade, en face de St-Mandrier.

Ces exercices sont établis de telle sorte, que le candidat totalise, à la fin du cours, 20 heures de plongée successives et progressives.

Incidents en cours d'instruction — Quelques candidats sont éliminés pour émotivité, observée en général lors des 2 ou 3 premières plongées. Les éliminations pour inaptitude professionnelle, reconnue par les instructeurs sont exceptionnelles. Pratiquement, les décisions ainsi prises sont sans appel et le sujet inapte est aussitôt renvoyé au service dont il provenait.

Les accidents sérieux au cours de cette période sont rares et on peut même dire que jamais un vrai accident n'a été observé au cours de l'instruction.

Il arrive parfois que les élèves, plongeant en même temps, aux quatre postes et se déplaçant sur le fond, le long du quai, à 10 mètres de profondeur, embrouillent leurs cordes et tuyaux, mais ce sont là des incidents de peu d'importance, dont l'unique conséquence est la peur qu'ils occasionnent chez quelques timorés.

Parfois, aux premières plongées, quelques élèves crachent un peu de sang, le médecin apprécie la décision à prendre ; le personnel instructeur est d'ailleurs très averti de la nécessité d'une surveillance sévère au point de vue sanitaire et n'hésite jamais à solliciter des avis médicaux, à l'occasion de la moindre indispo-

sition des hommes en instruction: rhumes, otalgies, plaies légères, etc...

La pratique des sports violents (foot-ball, joutes, basket-ball, courses, saut, cross-country) est en principe interdite pendant la période d'instruction, mais il faut savoir éviter une intransigeance absolue et se fier à l'expérience des instructeurs.

CHAPITRE V

APPAREILS

Pour mener à bien les travaux sous-marins envisagés, le plongeur doit se ménager des conditions de vie se rapprochant autant que possible des conditions normales de l'existence dans l'atmosphère terrestre. C'est à l'aide d'appareils divers que ce but a pu être atteint en particulier grâce au scaphandre.

Les appareils en service courant sont du type Rouquayrol-Denayrousse et on envisage l'utilisation des scaphandres autonomes du type Draeger, différant l'un de l'autre, par le fait qu'avec les premiers, la respiration se fait en circuit ouvert tandis qu'avec les seconds, elle se fait en circuit fermé; en effet:

Le Rouquayrol-Denayrousse rend le plongeur solidaire d'un poste extérieur, et en reçoit le gaz respirable par l'intermédiaire d'un tuyau flexible, sous une pression correspondant à sa profondeur d'immersion, ces gaz provenant d'une pompe ou d'une installation d'air comprimé.

Par contre, avec les appareils autonomes, toute espèce de relation vitale, au sens physiologique du mot, disparaît entre le plongeur et son équipe, le scaphandrier emportant avec lui la provision de gaz qui, pendant un certain temps, le maintient en équilibre de pression et satisfait ses besoins respiratoires.

Nous allons étudier les principales caractéristiques de ces deux types d'appareils, après quoi nous donnerons un bref aperçu de certains types d'appareils autonomes, tels « le Davis », utilisés dans la Marine pour l'évacuation de l'équipage des sous-marins naufragés, appareils qui ont le tort de ne pouvoir affranchir les naufragés des modifications de pression, d'où la complexité de leur emploi.

Il conviendra ensuite de dire un mot du « supersca-phandre » dont le principe est totalement différent de celui des appareils précédents, auxquels il s'apparente surtout par le nom et la destination.

I. — *Appareil Rouquayrol-Denayrouse*

Cet appareil est schématiquement constitué de deux parties bien distinctes :

- un habit compressible ;
- un casque incompressible ;

reliés entre eux par un système de fermeture à boulons par l'intermédiaire d'une pélerine métallique.

L'alimentation en air est assurée par une pompe à bras, fixée au ponton, qui refoule l'air dans le casque, par l'intermédiaire d'un tuyau. (Notons que l'usage de pompe à moteur est interdit dans la Marine).

L'évacuation de l'air vicié se fait par une soupape, située à la partie postérieure du casque.

Telles sont les caractéristiques de cet appareil ; nous allons maintenant donner une description de ses parties constitutives en distinguant l'équipement proprement dit du scaphandrier et ses accessoires.

Equipement. — Il comporte :

1° Un vêtement de laine : le plongeur doit être habillé de laine, de préférence à même la peau, afin que la transpiration, qui est très abondante, soit absorbée. Le vêtement réglementaire comprend un caleçon, un tricot, une paire de bas et un bonnet.

2° Un habit en caoutchouc à collerette de caoutchouc : l'habit est d'un seul tenant et est composé d'une feuille de caoutchouc pur, de première qualité, interposée entre deux étoffes de coton extra fortes, croisées et tannées ; les parties qui communiquent avec l'extérieur sont vulcanisées et contiennent dans leur intérieur des toiles fortes, taillées en biais, de façon à laisser toute l'élasticité désirable à l'objet qu'elles renforcent. Les étoffes sont encore doublées aux points principaux d'usure de l'habit : genoux, coudes... Seules les mains et la tête du scaphandrier sortent de cet habit.

Les manches sont terminées par des poignets en caoutchouc extensible et pur, par dessous lesquels on met des bracelets en caoutchouc fort, afin de clore hermétiquement le poignet à l'articulation.

Le haut du vêtement est terminé par une collerette de caoutchouc pur, extensible, qui vient se placer entre les brides de la pélerine et du casque.

3° Un coussin rembourré : le coussin rembourré, rapelant assez un bavoir d'enfant, se place sous le vêtement imperméable, pour mieux répartir sur les épaules le poids du casque, de la pélerine et des plombs.

4° Un casque et une pélerine métallique : le casque est en cuivre rouge, étamé à l'intérieur ; en avant se trouvent quatre glaces circulaires : une sur le dessus, pro-

tégée par un croisillon de cuivre pour éviter les risques de bris quand le plongeur heurte son casque contre les objets immergés, une de chaque côté et une sur le devant, celle-ci pouvant se dévisser.

Sur l'arrière du casque se trouve une tubulure cou-dée sur laquelle on visse le tuyau d'arrivée d'air; cette tubulure contient une soupape qui se ferme de dedans en dehors, dans le cas où le tuyau viendrait à se rompre. L'air est déversé, le long des parois intérieures du casque, par trois orifices plats et vient lécher les glaces, entraînant constamment ainsi la vapeur de condensation qui les ternirait.

Sur le côté du casque est placée une autre soupape qui laisse échapper l'air expiré par le plongeur et celui en excès fourni par la pompe; elle s'ouvre du dedans au dehors, le sujet peut régler cette soupape à son gré, ce qui lui permet, une fois le mouvement rythmique de la pompe établi, de déterminer lui-même sa consommation d'air et de la faire varier selon le cas. Enfin cette disposition permet au plongeur de remonter à la surface ou de descendre avec la rapidité ou la lenteur qui lui conviennent et cela sans aucun secours de l'extérieur, sans corde ni échelle.

Sur le sommet du casque est rapportée une tubulure sur laquelle se visse le tuyau accoustique.

La partie inférieure du casque offre une bride garnie de trois trous pour le passage des boulons correspondants de la pélerine métallique, sur le rebord de laquelle se rabat, à plat, la collerette en caoutchouc du vêtement.

5° Des plombs: pour maintenir le plongeur au fond de l'eau, on lui fixe des poids en plomb sur le dos et la

poitrine; ces poids sont suspendus aux boutons et aux crochets de la collerette métallique et liés à la ceinture.

6° Une ceinture: le plongeur boucle sur son vêtement une large ceinture de cuir fort, munie d'un fourreau dans lequel est vissé un poignard à large lame tranchante des deux côtés et pouvant lui permettre de couper sous l'eau, ce qui ferait obstacle et, dans certains cas, de se défendre contre les monstres marins.

Sur le côté gauche est fixé un anneau en cuivre ou porte-tuyau, par lequel passe d'avant en arrière, le tuyau d'arrivée d'air venant de la pompe avant d'aller se fixer au casque.

7° Des souliers: ceux-ci sont en cuir souple et protégés à l'avant par une garniture de laiton, leurs semelles sont rivées à des plaques de plomb de 8 kgs. La forme de ces souliers et leur dimension permettent de les fixer solidement aux pieds des plongeurs de toute taille.

Accessoires. — L'équipement du scaphandrier comporte de nombreux accessoires sur lesquels nous n'insisterons guère et dont les principaux sont:

1° Tuyaux de conduite d'air: ils se composent de plusieurs toiles caoutchoutées dont l'imperméabilité est obtenue au moyen de fines feuilles de caoutchouc. Au milieu des toiles on trouve une hélice en fil de fer garnie de caoutchouc qui empêche le tube de se couder. Ces tuyaux possèdent des raccords mâle et femelle en cuivre et sont délivrés par bouts de 5 à 10 mètres. Avant leur mise en service, ils sont essayés à une pression de 15 atmosphères.

2° Pompe: destinée à fournir l'air nécessaire et qui peut être soit à 2 corps et à bringueballes, nécessitant

en outre un réservoir à air, soit à 3 corps et alors le réservoir à air est contenu dans la carcasse même renfermant la pompe.

3° Manomètre: ce dernier est métallique et placé au point de jonction des tuyaux des conduites d'air des corps de pompe, il est gradué en mètres.

4° Appareil accoustique: il comporte une tubulure fixée sur le dessus du casque, un tuyau accoustique et une plaque vibrante, cet appareil permet au plongeur de parler et d'entendre la réponse, mais son utilisation n'est pas obligatoire.

5 (°) Orde de sûreté: c'est une corde maniable faisant dormant autour du corps du plongeur et à la ceinture, de façon que si elle vient à se détacher l'homme ne cesse d'être maintenu par la corde. Cette corde servira à communiquer avec le scaphandrier suivant un code établi et à le ramener à la surface.

Tel est l'équipement du plongeur et ses accessoires: lors de l'étude des appareils suivants nous passerons sous silence la description des pièces ne présentant pas de différences essentielles avec celles du Rouquayrol-Denayrousse, nous bornant à l'étude de celles qui en diffèrent totalement.

Il est à remarquer que dans le cas d'un plongeur debout, la pression est moindre sur le casque que sur les pieds, si par exemple le plongeur mesure 1 m. 80 cette différence est de 180 gr. par cm^2 . Lorsque le plongeur descend, la pression croît et tend à chasser l'air de l'habit compressible dans le casque, donc pour gonfler l'habit à la hauteur de la poitrine, de l'air doit être envoyé dans le casque jusqu'à ce que la pression de cet air soit égale à la pression de l'eau sur la poi-

trine. La différence de pression entre le casque et la poitrine est d'environ 30 gr. par cm², la soupape d'évacuation d'air doit donc être réglée de telle façon que l'échappement de l'air se fasse à une pression supérieure de 30 gr. à la pression de l'eau sur le casque. Par ce moyen, l'air est gardé sur la poitrine bien que la soupape soit un peu plus près de la surface de l'eau. Il est indispensable que la soupape puisse être manœuvrée par le scaphandrier, à sa convenance, car, lorsqu'il se couche, la différence de profondeur de la poitrine à la valve étant diminuée, l'habit tend à se gonfler, ce qui gêne ses mouvements.

II. — *Appareils autonomes*

Ces appareils se distinguent essentiellement du précédent appareil de plongée par :

— l'absence de tuyau, ce qui supprime tout risque d'étranglement ou d'accrochage des canalisations d'air ;

— l'absence de pompe, ce qui assure l'indépendance du plongeur et le met à l'abri du mauvais rendement des pompes alimentaires, quelle qu'en soit la cause ;

— la faculté de couper, si besoin est, la corde de sécurité car le scaphandrier peut remonter par ses propres moyens, grâce à sa réserve d'air comprimé.

-1° *Appareil Boutan :*

Cet appareil autonome dont l'instruction a été faite de 1920 à 1930 avait été conçu dans le but de permettre l'entrée et la sortie d'un sous-marin ; un des modèles permet un séjour de 4 heures au fond, un autre ne permet qu'un séjour de 2 heures.

Pour remplacer l'envoi d'air de la pompe, il comporte trois parties essentielles :

a) *Le laveur*. — Destiné à l'épuration en acide carbonique de l'air expiré par le plongeur ; cette opération s'effectue dans un appareil constitué par une série de cylindres disposés en chicane, percés de petits trous pour le passage d'une solution de potasse et montés sur un axe actionné par un mouvement d'horlogerie, logé dans l'une des extrémités de l'enveloppe de l'appareil.

b) *Bouteille de restitution d'oxygène*. — Dans le but de restituer à l'air précédemment épuré une proportion convenable d'oxygène, une bouteille remplie d'un mélange d'air et d'oxygène pur est fixée sous le cylindre constituant l'enveloppe du laveur. Le mélange gazeux arrive à un souffleur-injecteur par l'intermédiaire d'un mano-détendeur dont le débit est réglable.

Le laveur et la bouteille précédente constituent l'appareil proprement dit ; ils forment un tout suspendu sur le côté gauche du plongeur par une bretelle en toile renforcée, à agrafes rapides, passée sur l'épaule droite.

c) *Bouteille d'air*. — Destinée à assurer les variations de flottabilité du plongeur par l'introduction, à volonté, dans l'habit, d'un volume d'air supplémentaire. Cette bouteille est constituée par un obus de 1 l. 75 chargé sous une pression de 200 kgs, ce qui représente un approvisionnement de 350 litres, elle est munie d'un détendeur dont la manœuvre permet au plongeur de régler à volonté le débit d'air nécessaire au gonflement de l'habit. Cette bouteille se fixe sur le flanc droit du scaphandrier par une bretelle passée sur son épaule gauche.

Avec l'appareil Boutan, on utilise le casque du scaphandre Rouquayrol-Denayrouse sur lequel sont installés, de chaque côté de la glace de face, deux tubulures filetées recevant : l'une le tuyau de sortie de l'air expiré par le plongeur, l'autre celui de rentrée dans le casque de l'air régénéré. La tubulure placée en arrière du casque, qui servait au refoulement de la pompe, reçoit le tuyau d'entrée de l'air destiné à assurer les variations de flottabilité. La soupape d'évacuation d'air peut être utilisée pour effectuer de petites chasses pendant la plongée et pour la décompression lente avant l'ouverture de la glace.

L'habit est celui du scaphandre ordinaire; les plombs de face et de dos sont supprimés, leur poids étant compensé par celui des dispositifs précédents.

Ce type de scaphandre autonome a par la suite été abandonné en raison des inconvénients suivants :

a) Difficultés résultant de la position des bouteilles sous les bras, le sujet ne pouvant travailler que dans la station droite; dans la station en avant ou penchée, les bouteilles mobiles entraînaient le scaphandrier et lui faisaient perdre l'équilibre.

b) Fixation incomplète du gaz carbonique; après la plongée sensation d'ivresse pouvant persister plusieurs heures, vertiges, céphalées.

c) Possibilité d'arrêt du mécanisme de rotation du cylindre provoquant le brassage de l'air expiré au contact de la potasse liquide, le sujet devant alors suppléer au mécanisme en tournant à la main le cylindre, ce moyen de secours exigeant la cessation de tout travail.

d) Aucun moyen de contrôle précis n'existait pour vérifier le bon fonctionnement du souffleur-injecteur.

2° *Appareil Draeger:*

Ce scaphandre autonome dont l'étude expérimentale fut faite au laboratoire du Centre d'Etudes de la Marine et auquel M. le Professeur Hederer s'est particulièrement intéressé, résout d'une manière élégante mais dans les limites bien définies les principaux problèmes en cause.

Malgré sa complexité apparente, il est d'un maniement très simple mais nécessite une solide instruction professionnelle. Tant vaut le scaphandrier, tant vaudra l'appareil, c'est-à-dire que le Draeger ne peut être mis, sans inconvénients, entre toutes les mains. Son usage est réservé jusqu'à présent aux instructeurs et aux scaphandriers de la Direction du Port, ces derniers viennent s'entraîner à l'Ecole des Mécaniciens en vue de leur formation à l'emploi de cet appareil.

Le Draeger comporte:

— un vêtement caoutchouté, analogue aux habits ordinaires;

-- un « appareil dorsal », dispositif essentiel de ce scaphandre, en relation avec le casque;

— un « poids de poitrine »;

— des sabots métalliques légers munis de courroies et un « poids d'assiette » qui améliorent la répartition du poids total;

— un câble téléphonique ou une corde de sécurité.

Si l'on excepte les pièces ne présentant rien de bien particulier comme vêtement, souliers, casques somme

toute comparables à celles du Rouquayrol-Denayrouse, les parties essentielles du Draeger sont les suivantes :

a) *Appareil dorsal*. — Le plongeur doit pouvoir respirer dans son scaphandre aussi facilement qu'à l'air libre, et comme il se trouve en vase clos un dispositif spécial est nécessaire, pour lui fournir l'oxygène nécessaire à la vie et pour éliminer, d'autre part, l'acide carbonique rejeté par les poumons.

Ce dispositif se trouve réalisé dans l'appareil dorsal qui est relié au casque par deux tuyaux dont l'un a pour rôle d'aspirer l'air vicié du casque, tandis que l'autre sert à refouler, devant la bouche et le nez du plongeur, cet air régénéré par absorption de l'acide carbonique et apport d'oxygène. L'épuration du mélange gazeux et son enrichissement en oxygène s'effectuent automatiquement.

L'intérieur de cet appareil comprend :

Deux bouteilles : l'une renferme de l'air comprimé, l'autre de l'oxygène ; chaque bouteille, dont la capacité atteint 3 litres, peut être remplie à la pression de 200 atmosphères.

Le Draeger, comme tout autre modèle établi pour des profondeurs supérieures à 20 mètres, dispense à l'usage un mélange d'air et d'oxygène. C'est là une nécessité physiologique, car la composition du gaz respirable joue un rôle de premier ordre. En effet, tandis que l'oxygène pur ne saurait être respiré sans danger pendant plus de 2 heures à 10 mètres de profondeur, l'air atmosphérique qui contient 21 % d'oxygène ne pourrait être supporté plus de 2 heures également, à 90 mètres

de profondeur. Ces limites ne sont pas absolues, elles varient bien entendu avec le travail du plongeur.

S'il n'est pas indiqué d'alimenter les scaphandriers autonomes pour grande profondeur avec un mélange gazeux trop riche en oxygène, il n'est pas économique, non plus, de leur fournir seulement de l'air comprimé, car les besoins physiologiques du plongeur exigent une circulation d'air normal infiniment supérieure à celle que réclame le fonctionnement des appareils. Mais on peut concilier les deux choses, en débitant un mélange d'air et d'oxygène calculé de telle sorte que le taux de l'oxygène n'atteigne pas les limites dangereuses.

Dans le Draeger, ce mélange gazeux se fait automatiquement et suivant une progression qui prévient tout accident imputable à des proportions défectueuses d'air et d'oxygène.

Les deux bouteilles d'air et d'oxygène sont toutes deux ouvertes à la fois, les gaz se rencontrent devant un manodétendeur et arrivent, après avoir traversé cette soupape, à un souffleur-injecteur puis dans le casque par le tuyau d'arrivée.

Si les bouteilles remplies à la même pression sont de même capacité, l'injecteur souffle un mélange d'air et d'oxygène à parties égales; comme l'air renferme 21 % d'oxygène, ce mélange comprendra approximativement:

50 + 10, soit 60, % d'oxygène et 39,5 % d'azote.

Si les bouteilles remplies à la même pression sont de taille différente, le mélange s'effectuera proportionnellement à leur volume respectif.

Une cartouche alcaline: destinée à absorber l'acide carbonique, elle est maintenue par un ressort contre la

tubulure d'aspiration ménagée dans le couvercle de la boîte qui l'entoure; son fond présente une ouverture qui la met en communication avec l'intérieur de cette boîte. Par suite de la dépression que le souffleur produit dans la boîte, l'air du casque est aspiré de haut en bas à travers la cartouche; il passe sur des plateaux chargés de soude granulée et disposés en chicane, ce qui augmente leur surface absorbante.

Dépouillé de toutes les impuretés que la respiration élimine (gaz carbonique, acides gras, vapeur d'eau) l'air retourne au casque par le tuyau d'admission de gaz.

Chaque cartouche peut absorber complètement les 60 litres de gaz carbonique qu'un homme exhale, en moyenne, dans une heure de travail pénible.

La bouteille d'oxygène et la cartouche alcaline ont une durée d'utilisation à peu près équivalente, lorsqu'elles ont été l'une et l'autre convenablement remplies, elles s'épuisent donc simultanément.

b) *Poids de poitrine.* — Ce poids suspendu au corselet fait équilibre à l'appareil dorsal et alourdit le plongeur; il représente en outre un réservoir d'air comprimé; en effet il est constitué de deux bouteilles de 1 l. 500 chacune et chargées à 200 kgs., ce qui représente une réserve de:

$$2 \times 1,5 \times 200 = 600 \text{ litres d'air à } 20,9 \% \text{ d'oxygène.}$$

Leur débit n'est pas automatique mais réglable, au moyen d'un volant, par le scaphandrier.

Cet air que l'on peut qualifier d'air de manœuvre, puisqu'il suffit au plongeur de régler son admission pour pouvoir remonter, est destiné à équilibrer la hauteur de la colonne d'eau, mais il contribue aussi à entre-

tenir la respiration du plongeur et surtout à combattre, par grand fond, l'augmentation de la teneur en oxygène dans l'atmosphère enclose.

Le Draeger permet au scaphandrier, dans les conditions ordinaires du travail sous-marin, d'exécuter, sans danger imputable au mélange gazeux qu'il respire, un travail moyen pendant :

2 h. 45 à 10 mètres de profondeur.

2 h. 20 à 15 » »

2 h. à 20 » »

1 h. 45 à 25 » »

1 h. 30 à 30 » »

1 h. à 35 » »

0 h. 45 à 40 » »

Ce sont là les durées maxima d'emploi qu'il ne faut jamais dépasser sous peine d'accidents graves.

3° *Appareil Davis :*

Réalisé en vue du sauvetage des équipages des sous-marins naufragés, cet appareil a donné entière satisfaction au cours d'exercice d'entraînement individuel, il a même permis de sauver trois hommes lors du naufrage du sous-marin anglais « Poseidon », coulé en 1931 à l'embouchure du Yang-Tsé-Kiang, par 30 mètres de fond (cinq hommes s'évadèrent ainsi du sous-marin, deux moururent après leur retour à la surface).

Il a été adopté par la Marine Française en 1931 et chaque sous-marin devrait en posséder un nombre égal au 3/4 de son effectif.

Le Davis est constitué par un sac respiratoire, en toile caoutchoutée, d'une capacité de 8 litres. Une bou-

teille d'acier, contenant environ 56 litres d'oxygène comprimé à 120 atmosphères, est placée à l'extrémité inférieure du sac; deux petits oxylets de secours contenant 3 l. 500 d'oxygène et pouvant tenir 7 minutes chacun sont annexés à cette bouteille. A l'intérieur et à la partie supérieure du sac se trouve une boîte à chaux granulée, capable d'absorber 38 litres de gaz carbonique. Un tube flexible met en communication cette boîte avec une embouchure placée entre les lèvres et les gencives du porteur; un pincé-narine a été prévu pour que la respiration s'effectue exclusivement par la bouche. A l'avant du sac, un flotteur auxiliaire peut être gonflé par un oxylet d'air comprimé placé latéralement. Sous ce flotteur est roulé un tablier dit retardateur: étendu horizontalement pendant l'ascension, il oppose une résistance considérable à l'eau et ralentit la montée. Des courroies réglables permettent la fixation de l'appareil autour du cou et du corps.

Cet appareil respiratoire autonome doit assurer d'une manière satisfaisante, semble-t-il, la respiration sous l'eau, malheureusement il ne comporte pas d'habit et ne peut, dans les conditions pratiques du sauvetage, affranchir les naufragés des modifications de pression.

4° *Appareils ayant fait l'objet d'études:*

Nous venons de voir les différents types d'appareils que la Marine a jugé aptes à être utilisés, au moins un certain temps puisque le Boutan en a été éliminé au bout de plusieurs années, il nous reste à donner un aperçu de quelques appareils expérimentés par l'Ecole des scaphandriers en collaboration avec le Centre

d'Etudes de la Marine, dispositifs qui n'ont pas été retenus en vue de la généralisation de leur emploi :

a) *Appareil Fernex-Le Prieur*. — Cet appareil n'est conçu que pour les plongées de courte durée, six à sept minutes, par des fonds de 5 à 6 mètres. Ses essais furent faits en 1927. Pas plus que le Davis ni les appareils suivants, il ne comporte de vêtement spécial; il comprend une bouteille d'air comprimé à 150 kgs, montée sur une ceinture et fixée au dos du sujet, munie d'un manodétendeur réglable à volonté. L'air détendu se rend à un embout respiratoire du type Fernex constitué de trois tubulures, l'une reliée au tuyau venant du réservoir d'air, la deuxième terminée par un embout de caoutchouc que le plongeur prend entre les dents, la troisième laisse échapper l'air en excès et se referme, grâce à la présence d'une soupape, si la pression de l'eau devient supérieure à celle de l'air intérieur.

Cet appareil ne fut pas agréé par la Marine, en raison de la courte durée de séjour sous l'eau et de la faible profondeur qu'il permettait d'atteindre.

b) *Appareil Hanseatiche*. — Cet appareil présenté en 1929 par une maison allemande comprend: un poumon en tissu caoutchouté fixé sur la poitrine par des bretelles, une bouteille d'une capacité d'un litre environ d'oxygène pur, une boîte de régénération à la soude granulée, un pince nez et une pipette.

c) *Appareil Lung*. — Appareil américain constitué essentiellement: d'un poumon en tissu caoutchouté à l'intérieur duquel se trouve une boîte de régénération, d'un pince nez, et contrairement aux autres appareils

d'un double conduit l'un expirateur, l'autre inspireur. Cet appareil ne comporte pas de bouteille d'oxygène, le gonflement du poumon se fait par les groupes d'oxygène à l'intérieur du sous-marin. L'air vicié que le sujet rejette dans le poumon par le conduit expirateur est épuré par la boîte de régénération et fait retour au plongeur par le conduit inspireur. La flotabilité est suffisante pour permettre la remontée.

d) *Capuchon Belloni*. — Dispositif italien consistant en: un capuchon de tissu caoutchouté qui est fixé sur la tête du sujet, deux bouteilles d'air comprimé, fixées à la ceinture et venant par des tuyaux aboutir au capuchon sous lequel la pression de l'air empêche l'eau d'entrer, l'excès d'air s'échappant au niveau du bord inférieur du capuchon. Cet appareil permet de plonger jusqu'à 25 mètres, mais il exige un sérieux entraînement et la quantité d'air employé est considérable.

III. — *Superscaphandre ou scaphandre de grande profondeur*

Cet appareil, construit en Allemagne, dont le principe est entièrement différent des scaphandres précédents, permet de descendre à des profondeurs considérables, de l'ordre de 200 mètres.

La pression de l'eau y est contre balancée par la résistance d'une coque rigide et non plus par une contre pression aérienne intérieure, d'où analogie avec le principe des sous-marins, l'homme travaillant sous une pression d'air voisine de la pression atmosphérique.

Pour permettre à l'occupant de travailler, la carapace rigide est articulée au niveau des membres, et, aux gantelets terminant l'enveloppe des membres supérieurs sont fixés des crochets et des instruments variés, appropriés à la nature des travaux à effectuer.

La réserve d'air, constituée par des bouteilles d'air comprimé, est fixée à l'extérieur de la coque, ces bouteilles sont en communication avec des ballasts annexés à la carapace, le plongeur peut à volonté régler l'admission d'air comprimé dans ces compartiments indépendants les uns des autres.

L'épuration de l'air expiré se fait par son passage sur des boîtes à soude.

Le sujet est en relation par téléphone avec le bâtiment qui l'amène sur les lieux de plongée, ses déplacements dépendant de ceux du navire auquel il est relié par un câble de suspension, ce dernier peut d'ailleurs être largué de l'intérieur s'il est engagé en un point quelconque et le scaphandrier vidant ses ballasts remonte en ballon.

Cet appareil a déjà fait ses preuves, il a permis la récupération de l'or de l'« Egypt » coulé en 1917 au large d'Ouessant, travaux menés à bien par une compagnie de sauvetage italienne, malgré des difficultés énormes ne permettant que de rares heures de travail dans l'année. Le superscaphandrier a aussi été utilisé pour plonger sur l'épave du sous-marin « Prométhée », coulé près de Cherbourg: plongée qui fut de courte durée, dix minutes, la violence des courants n'ayant permis l'exploration de l'épave qu'au moment de la renverse des courants.

L'utilisation du superscaphandre est d'autant meilleure que son occupant a plus d'expérience, en effet, s'il est suffisamment entraîné, il peut, en manœuvrant les purges d'air des ballasts, réaliser les conditions d'équilibre nécessaires pour qu'il puisse se déplacer par ses propres moyens, si bien entendu, il travaille sur un fond dur et non pas un fond de vase, cas où il est forcé de recourir à son bateau pour le déplacer.

Il existe deux superscaphandre à Toulon, l'un à l'atelier des torpilles, l'autre à bord du remorqueur « Tappage », ils sont utilisés pour repêcher les torpilles coulées par des fonds supérieurs à 45 mètres et pour toutes plongées par grand fond.

CHAPITRE VI

LA PLONGÉE ET SES ACCIDENTS

I. — *La Plongée*

La plongée peut être divisée en trois périodes : la descente, le travail, la remontée ;

Au cours de chacune de ces phases, divers accidents peuvent se produire, nous allons les énumérer puis nous en ferons l'étude succincte. Nous aurons ici essentiellement en vue les plongées avec l'appareil le plus employé : le Rouquayrol-Denayrouse.

1° *Conditions préliminaires à la plongée :*

Pour travailler sous l'eau, le plongeur doit satisfaire à quatre conditions essentielles avant de revêtir un scaphandre :

a) Etre en bonne santé. Tout surmenage peut être dangereux, le sujet ne doit pas en principe effectuer plus d'une plongée par 24 heures. Si les circonstances sont impérieuses, la deuxième descente n'aura lieu que 2 heures au minimum après la remontée.

b) Ne pas être en transpiration. Sous l'eau, le scaphandrier éprouve une sensation de froid, tenant à la présence de la masse liquide qui l'environne et aussi à la détente de l'air fourni par la pompe.

c) Ne pas avoir mangé depuis deux heures au moins.

d) Avoir l'esprit calme et être en possession de tout son sang-froid.

Enfin il est souhaitable que le sujet ait satisfait ses besoins naturels.

2° *La descente :*

Le scaphandrier revêt son habit, vérifie le bon état et le bon fonctionnement de son appareil, avant de disparaître sous l'eau en se laissant glisser le long de l'échelle du ponton. Les règles de la descente ont donné lieu à maintes controverses, en France, on conseillait une descente progressive et lente; en Angleterre une descente aussi rapide que possible, chaque minute employée à la descente étant considérée comme du temps perdu. Actuellement, tout le monde s'accorde à dire que ce qui règle la vitesse de descente est le débit d'air de la pompe, qui doit gonfler suffisamment l'habit, pour contre-balancer la pression extérieure.

Si exceptionnellement de grandes profondeurs ont pu être atteintes avec le scaphandre souple (100 mètres à Honolulu), l'expérience a démontré la possibilité d'accidents graves, lorsque la descente s'effectue au delà de 60 mètres, et dans la pratique on déconseille, à moins de nécessité absolue, les plongées au delà de 45 mètres.

Pendant la descente nous pouvons avoir divers accidents ou incidents tels que :

Accidents auriculaires.

Compression du plongeur.

Asphyxie.

Lésions traumatiques diverses.

3° *Le travail :*

En arrivant sur le fond, le plongeur signale le fait par un coup tiré sur la corde et ensuite effectue son travail. Les phénomènes physiologiques et morbides qui peuvent alors se manifester et qui reconnaissent pour origine la compression, sont les mêmes que ceux observés chez les ouvriers des caissons ; toutefois le travail des scaphandriers est plus pénible. Les accidents précédents, que nous pouvons rencontrer pendant la descente, ont leur maximum de fréquence pendant cette période de travail ; en outre, on peut observer dans certaines conditions, heureusement très rarement réalisées, des cas d'intoxication par l'oxygène.

4° *La remontée :*

C'est le temps le plus délicat de la plongée ; le scaphandrier ayant terminé son travail ou ayant passé sous l'eau un certain laps de temps, variable en fonction de la profondeur, remonte en gonflant son habit par la manœuvre de la soupape d'échappement d'air et en tirant lui-même, plus ou moins, sur la corde de sûreté.

L'ancienne méthode française d'ascension continue, aboutissait à des temps de remontée excessifs et excédait les sujets qui remontaient souvent au gré de leur impatience et pouvaient présenter des accidents sérieux. On utilise aujourd'hui la table de Haldane qui prévoit des étapes à divers paliers ; les arrêts aux différentes profondeurs sont fonction du temps passé sous l'eau jusqu'au début de la montée, pour une profondeur donnée.

Les accidents caractéristiques de la remontée sont :

- la montée en ballon;
- les accidents de décompression ou mal des plongées.

On pourra également observer des :

- accidents auriculaires;
- asphyxies;
- lésions traumatiques diverses.

Nous allons maintenant entreprendre une étude de ces divers incidents et accidents.

II. — *Accidents et incidents*

1° *Effets de l'air comprimé sur l'organisme :*

A) *Effets mécaniques.* — Les êtres vivants supportent très bien les fortes surpressions, à condition d'éviter une compression trop brutale. C'est ainsi que Guglielminette (*Génie Civil*, 30 octobre 1931, tome xcix, n° 14) a constaté que sous une pression correspondant à 3.000 mètres de profondeur, les muscles de la grenouille réagissent normalement, les nerfs ne semblent perdre leur excitabilité qu'à une profondeur de l'ordre de 4.000 mètres; l'animal ne meurt qu'après un séjour de 10 minutes à 500 atmosphères (10.000 mètres).

L'homme, animal supérieur, supporte sans inconvénients une compression rapide de 2 kgs. environ par minute, lorsque les oreilles et le nez sont en bon état.

B) *Effets toxiques.* (*Intoxication par l'oxygène*). — Si les effets mécaniques ne sont pas à craindre, il n'en est pas de même de la toxicité de l'air comprimé. Des trois composants essentiels de l'air atmosphérique, seul

l'oxygène sous pression se comporte comme un poison violent; l'azote, gaz inerte, n'est pas toxique; quant à l'acide carbonique, son action est compensée par celle de la réserve alcaline.

L'oxygène commence à devenir dangereux quand sa pression partielle atteint 1 atmosphère. Langlois a montré que les animaux soumis à une pression d'oxygène de 3,5 atmosphères meurent en présentant des convulsions analogues à celles produites par la strychnine; ces troubles sont bien dus à l'oxygène car, à tension égale, ils sont d'autant plus précoces que l'atmosphère en contient davantage; d'autres animaux succombent à une azotémie massive (Bounhiol, Académie des Sciences, 1929).

A la lueur des recherches expérimentales que l'on peut invoquer aujourd'hui, l'action toxique de l'oxygène se traduit, d'après M. le Professeur Héderer, par deux effets distincts et souvent conjugués:

a) Le premier, d'ordre irritatif pour le tissu pulmonaire, n'offre pas de caractère vraiment spécifique et se développe lentement. Il apparaît déjà, sous forme de lésions inflammatoires plus ou moins étendues, aux pressions relativement basses d'oxygène (0,80 à 1 atmosphère) quand l'acte respiratoire dure longtemps (de quelques heures à 24 heures et davantage). On lui rattache, trop exclusivement peut-être, certaines pneumopathies des scaphandriers (congestion ou œdème pulmonaire, pneumonie...), ces maladies ont été observées quelquefois après immersion prolongée, à grande profondeur, avec un appareil quelconque.

b) Le second, d'ordre convulsif, mis pour la première fois en évidence par Paul Bert, caractérise, au contraire, l'action de l'oxygène sous une forte pression (toujours supérieure à 3 atmosphères) et se produit rapidement. Cette action paraît s'exercer sur le système nerveux, par certains côtés elle rappelle les effets de la strychnine. Voici les symptômes que l'on observe :

a) Tantôt les convulsions sont du type clonique : elles consistent alors en trémulations, en tremblements spasmodiques des paupières, des mâchoires, des muscles de la face ou des membres.

b) Tantôt les convulsions sont du type tonique : elles se traduisent par des contractures d'allure tétanique, de véritables crampes qui peuvent intéresser les mêmes groupes musculaires.

c) Tantôt les convulsions sont du type mixte : elles associent les crampes rigides dans certaines régions à des tremblements spasmodiques dans d'autres régions.

En outre, les expériences faites sur l'homme ont montré que l'action convulsivante de l'oxygène n'est pas seulement fonction de la pression absolue du gaz et de la durée de l'acte respiratoire à cette pression, mais aussi de l'activité physique déployée par le sujet ; d'où intérêt à économiser les efforts du plongeur en eau profonde, et à régler la durée du travail d'après la tension absolue de l'oxygène dans l'atmosphère du scaphandre.

*2° Compression du scaphandrier
ou « Squeeze » des Anglo-Saxons :*

Cet accident brutal se produit lorsque l'air fourni au scaphandre est en quantité insuffisante pour équilibrer la pression de la colonne d'eau ; l'habit s'aplatit alors

sur le corps du plongeur et il se trouve soumis à une compression susceptible de devenir dangereuse.

Il se produit presque toujours accidentellement : un scaphandrier travaillant par exemple sur un échafaudage, presque à la surface de l'eau, au nettoyage de la coque d'un bâtiment, par suite d'une maladresse glisse et la corde de sûreté n'étant pas tenue en main, tombe au fond de l'eau par une profondeur de 10 mètres, où règne une pression sensiblement double de celle de la surface.

Sur chaque partie du corps de cet homme s'applique, instantanément, une pression supplémentaire de 1 kg. par cm^2 . Or le casque est rigide, il en résulte que la pression s'exerçant sur l'habit va refouler le corps du plongeur dans le casque avec une force énorme et le sujet peut être tué sur le coup, la pression s'exerçant sur le tympan peut le crever, des hémorragies graves peuvent se produire par la bouche ou le nez.

Remarquons ici que les accidents de ce genre n'ont pas la même importance à toutes les profondeurs : ainsi si le plongeur était immergé à 45 mètres, une chute brusque de 10 mètres l'amenant à 55 mètres n'augmente la pression que dans le rapport de 4,5 à 5,5 ; l'effet sur le scaphandrier sera proportionnellement bien moindre. Les accidents observés sont donc d'autant plus graves que le sujet tombe d'un point plus rapproché de la surface et que la chute est grande.

3° *Asphyxie* :

Les cas d'asphyxie que l'on peut observer reconnaissent ou une origine chimique ou une origine mécanique.

a) *Asphyxie d'origine chimique.* — Due à la surcharge de l'atmosphère du casque en acide carbonique :

— soit que la ventilation du scaphandre se trouve être insuffisante, ce qui peut être dû à l'écrasement du tuyau d'arrivée d'air, coudé sur un obstacle quelconque, ou bien au mauvais fonctionnement de la pompe ;

— soit que le gaz carbonique soit produit en plus grande quantité qu'habituellement, fait qui peut s'observer lorsqu'on utilise un pompage mécanique, et qui est dû à la combustion des huiles employées pour graisser les cylindres des compresseurs d'air.

Le scaphandrier est mis en garde contre cette menace d'asphyxie par une accélération de la respiration, de la céphalée, des sueurs, par la condensation sur la vitre du casque de la vapeur d'eau éliminée en plus grande quantité par la respiration accélérée. Si l'atmosphère n'est pas renouvelée, la perte de connaissance et la mort s'ensuivent.

Le plus souvent le sujet averti dès les premiers symptômes de l'asphyxie débutante réclame à temps un envoi d'air supplémentaire et de tels accidents sont exceptionnels.

b) *Asphyxie d'origine mécanique.* — Elle peut se produire de deux façons :

— par compression exercée sur le thorax par l'habit insuffisamment gonflé, d'où gêne des mouvements respiratoire pouvant aller jusqu'à les rendre impossibles, accident qui ne se produit que chez les plongeurs inexpérimentés n'ayant su faire un réglage convenable de la soupape assurant l'évacuation de l'air vicié ;

— par submersion, un choc, contre un obstacle quelconque, pouvant au cours de la plongée déchirer l'habit du scaphandrier ou briser la glace de son casque.

°4 *Accidents auriculaires :*

Ces troubles, le plus souvent bénins, sont fréquents chez le plongeur et leur apparition peut nécessiter l'élimination du cours des élèves scaphandriers.

On peut observer au cours des plongées ordinaires, des bourdonnements, des sifflements d'oreille, des douleurs vives, de la diminution de l'acuité auditive; ces phénomènes s'expliquent par un retard d'égalisation des pressions entre l'atmosphère extérieure et celle de la caisse tympanale, retard causé ou favorisé par l'imperméabilité tubaire.

On peut encore avoir, aussi bien en cours de compression que de décompression, des ruptures de tympan, relevant du même mécanisme que les troubles précédents.

La compression lente du labyrinthe peut provoquer quelques troubles passagers tels que bourdonnements, vertiges. Des phénomènes plus graves sont provoqués par sa compression brutale: nausées, états lipothymiques, hémorragies du labyrinthe.

Mais les accidents labyrinthiques atteignent leur plus grande fréquence et leur plus haute gravité au moment de la décompression, où l'on peut observer un vertige intense, paroxystique, rotatoire avec bourdonnements et sifflements d'oreille, hypoacousie, troubles bulbaires (nausées, sueurs froides, pâleur, céphalée).

Ces troubles disparaissent en général quand le plongeur est remonté, exceptionnellement ils peuvent persister environ une semaine et ils disparaissent ensuite sans laisser de séquelles importantes.

5° *Ballon:*

On entend sous ce nom la remontée rapide et en général involontaire du scaphandrier dont le vêtement est « surgonflé ».

Cet accident peut relever de trois causes différentes :

a) Envoi d'une trop grande quantité d'air dans le scaphandre ;

b) Insuffisante évacuation de l'air du scaphandre par fonctionnement défectueux de la valve d'échappement ;

c) Action du courant, tendant la corde de sûreté et entraînant le scaphandrier vers la surface, d'où abaissement brusque de la pression extérieure à laquelle il est soumis et par suite gonflement de l'habit.

Les accidents qui en résultent, mis à part les traumatismes par choc violent contre tout obstacle rencontré lors de l'ascension rapide, entrent dans le cadre des accidents de décompression :

6° *Accidents de décompression:*

Ce sont les accidents les plus graves et les plus fréquents apparaissant au cours des travaux sous-marins. Comme leur nom le fait pressentir, il sont dus à une décompression trop rapide, c'est-à-dire, la plupart du temps, à un trop prompt retour à la surface.

La pathogénie de ces accidents est bien connue à l'heure actuelle, ils sont attribués aux embolies gazeuses, essentiellement constituées d'azote, qui se forment dans le sang et les tissus riches en graisse, lors de la décompression ; nous avons étudié le mécanisme de leur formation au cours d'un chapitre précédent.

Suivant la localisation et l'importance de ces bulles de gaz, les symptômes observés permettent de distinguer plusieurs formes d'accidents :

A) *Accidents aigus*. — On en distingue quatre formes :

a) *Forme musculaire et articulaire*. — Cette forme, généralement bénigne, apparaissant le plus souvent au moment même de la décompression, parfois après une période de latence de quelques heures, se caractérise par un prurit généralisé et intense, d'où le nom de « puces » que leur donnent les ouvriers. Cette sensation est fréquemment ressentie par les professionnels qui n'y attachent aucune importance.

A un stade plus marqué, des douleurs connues sous le nom de « moutons » siègent dans les muscles et dans les articulations, ces douleurs sont d'intensité variable, pouvant aller de la simple sensation de courbature à des sensations de douleurs vives, transfixiantes, s'exacerbant par la pression des masses musculaires et persistant plusieurs jours.

b) *Forme respiratoire*. — Parfois simple gêne respiratoire cessant quand le sujet revient à la pression normale, parfois forte dyspnée avec cyanose de la face, sensation d'angoisse, expectoration sanglante pouvant aboutir à un syndrome d'œdème du poumon.

c) *Formes nerveuses*. — Ces dernières peuvent relever de trois origines :

a) Origine cérébrale : on peut observer des troubles de l'ouïe, des vertiges, des syncopes, parfois de l'aphasie, plus rarement des accidents apoplectiformes.

b) Origine bulbaire : ces formes se manifestent par des symptômes d'asphyxie pulmonaire ou cardiaque.

c) Origine médullaire: ces formes, de beaucoup les plus fréquentes et aussi les plus graves, se caractérisent par des troubles de la motilité, de la sensibilité, des réflexes, par des paralysies et surtout par des paraplégies dont l'évolution clinique particulière mérite d'être rapportée.

Ces paraplégies apparaissent dès le retour du scaphandrier à la surface, cependant il existe parfois un intervalle libre entre la remontée et l'apparition des accidents paralytiques, cette période de latence pouvant durer une douzaine d'heures.

Cliniquement on peut, d'après Audibert, distinguer trois phases dans l'évolution de ces paraplégies.

1) Phase prémonitoire préparalytique: la plupart des accidents banaux de décompression peuvent se rencontrer au cours de cette phase, mais deux sont particulièrement fréquents:

— l'évanouissement, qui peut survenir brutalement et au cours duquel la paralysie s'installe; il est de durée assez longue, en moyenne de 2 heures;

— les douleurs qui peuvent être de siège épigastrique, plus ou moins profondes, mais le plus souvent il existe une violente douleur siégeant au niveau des dernières vertèbres dorsales et s'irradiant aux régions lombaires; cette douleur, d'apparition brutale, persistera, la paraplégie une fois établie.

2) Période d'état: la paraplégie s'installe dans le quart d'heure qui suit l'apparition des douleurs précédentes ou au cours de l'évanouissement, quand ce dernier existe. Elle consiste en une paralysie flasque des membres inférieurs avec anesthésie et abolition des réflexes, rétention des urines et matières.

La zone d'anesthésie qui s'étend jusqu'à l'ombilic est généralement surmontée d'une zone d'hyperesthésie en ceinture.

On peut en outre observer des paralysies de la face ou des membres supérieurs, ces dernières ne sont pas forcément flasques comme celles des membres inférieurs.

3) Evolution: elle peut se faire suivant trois modes:

— Mort du sujet.

— Régression totale, mode le plus fréquent.

— Impotence définitive par passage à la spasmodicité.

d) *Formes sensorielles.* — On a également observé de la diplopie, du nystagmus, un rétrécissement du champ visuel des hémorragies rétiniennes, de la cécité passagère ou définitive (Pick, Oblath, Oliver) et une kératite neuro-paralytique par altération du trijumeau.

La fréquence des accidents auriculaires est grande ; au niveau du tympan on peut observer des phlyctènes, gazeuses ou sanguines, boursouflant la face externe de cette membrane et dues à la stase sanguine ou au dégagement des bulles d'azote.

B) *Séquelles.* — Ce sont les lésions chroniques permanentes faisant suite à certains de ces accidents aigus.

a) *Paraplégie spasmodique.* — Evolution de l'accident paraplégique signalé plus haut, ne se différenciant cliniquement en rien d'une paraplégie banale.

b) *Lésions ostéo-articulaires.* — Ces lésions se voient surtout chez les sujets d'une quarantaine d'années, travaillant depuis longtemps dans l'air comprimé et ayant présenté à plusieurs reprises des accidents aigus de décompression.

Lésions cliniquement caractérisées par des douleurs parmanentes, à début insidieux, siégeant au niveau des articulations, aboutissant à la longue à une réduction de l'amplitude des mouvements de l'articulation et à un important degré d'atrophie des muscles périarticulaires, réalisant petit à petit le tableau clinique de l'arthrite déformante.

L'atteinte articulaire se fait, par ordre de fréquence décroissante, aux hanches, aux genoux, aux épaules, aux articulations tibio-tarsiennes. Il est à remarquer que chez les sujets présentant ces lésions, il n'existait aucun signe d'atteinte médullaire, ce qui a permis d'éliminer toute cause trophique d'origine centrale dans leur formation.

Quant à leur étiologie elle est, pour Bassée, indiscutable, étant donné la fréquence des accidents ostéo-articulaires : les « moutons » que nous avons vus précéderment.

Ces lésions se traduisent radiologiquement par un aspect d'arthrite déformante typique : déformation du contour articulaire ; pincement articulaire, parfois disparition de l'interligne et apparition d'ostéophytes ; modifications de structure de l'épiphyse dans laquelle voisinent des zones de condensation et de raréfaction osseuse.

La radiographie peut aussi révéler au niveau des diaphyses, des zones claires, nécrotiques, plus ou moins étendues, mais sans autre traduction clinique que des douleurs vagues sans topographie bien nette.

Quant aux lésions siégeant au niveau des articulations, si elles ne sont pas traitées, elles évoluent lentement vers l'ankylose avec diminution des phénomènes douloureux.

Des biopsies effectuées à leur niveau, ont montré que les cultures et les inoculations au cobaye restent négatives; les résultats nécropsiques ont montré que l'on se trouvait en présence de zones de nécrose osseuse aseptique, parfois envahies et remplacées par de l'os néoformé avec un processus de recalcification qui arrête le remaniement. En somme, les modifications de structure observées sont identiques à celles que l'on trouve après interruption de l'apport vasculaire au niveau du tissu osseux.

Le mécanisme pathogénique de ces lésions peut être expliqué par deux théories :

— soit embolie gazeuse, d'où nécrose plus fréquente au niveau des os dont les artères nourricières ont un caractère terminal: telle l'épiphyse supérieure du fémur;

— soit bulles gazeuses libérées au niveau de la moëlle osseuse qui, très riche en graisses, avait dissout beaucoup d'azote, bulles qui compriment les vaisseaux et autres éléments constitutifs de l'os.

En résumé, quel que soit le mécanisme, on ne peut nier à son origine l'action de la décompression qui a mis en liberté ces bulles d'azote, pour les uns à l'intérieur des vaisseaux, pour les autres au sein de la moëlle osseuse.

CHAPITRE VII

PROPHYLAXIE ET TRAITEMENT DES ACCIDENTS

On reprendra ici les accidents déjà envisagés dans le chapitre précédent et on examinera les moyens susceptibles de les prévenir et de les traiter.

Les accidents de décompression, par leur fréquence et leur gravité, méritent une place de premier ordre dans la pathologie des scaphandriers; notons qu'ils représentent aussi les seuls accidents spécifiques du travail dans l'air comprimé, ce qui leur a valu le nom de « mal des caissons ou mal des plongées ».

1° *Intoxication par l'oxygène:*

De tels accidents ne se verront pratiquement pas dans la Marine française, étant donné: les règlements stricts auxquels la plongée est soumise et l'emploi de superscaphandre pour les plongées supérieures à 45 mètres. Quant aux scaphandres autonomes, leur conditionnement est tel que ces accidents ne pourraient provenir que d'un vice de fonctionnement de l'appareil.

2° *Compression du scaphandrier (squeeze) :*

Cet accident nécessite d'urgence une remontée rapide, le déshabillage du sujet et, le cas échéant, la recompression et la thérapeutique du choc traumatique et des hémorragies internes.

3° *Asphyxie :*

Le cas d'asphyxie, de diverses origines, en présence desquels on peut se trouver, ne nécessitent d'autre traitement que la thérapeutique banale des asphyxies.

La prophylaxie de ces accidents consiste à mettre en garde le plongeur qui, dès les premiers symptômes ressentis, se fait remonter. Quand ils n'ont pu être ainsi évités, il faut aussitôt ramener le plongeur à la première étape de décompression, puis après une vaine tentative pour communiquer avec lui, le ramener à la surface, ouvrir la vitre du casque afin de lui donner de l'air frais, au besoin couper l'habit.

Si les mouvements respiratoires persistent, même faiblement, il suffit souvent de quelques bouffées d'air pour ranimer le sujet. Sinon, sans prendre le temps de le déshabiller, il faut pratiquer les manœuvres de respiration artificielle, en particulier la méthode de Schafer à l'aide d'un appareil de Panis, Hederer, Cot. Le scaphandrier ayant repris connaissance, il faut songer, s'il a été remonté d'une profondeur notable, à prévenir les accidents possibles de mal des plongées en recourant à la chambre de recompression, voire à défaut en renvoyant le sujet au fond; il est nécessaire dans ce cas de faire plonger un autre scaphandrier qui l'observe, le reconforte par des gestes et lui donne une impression de confiance et de sécurité.

4° *Accidents auriculaires:*

Le plongeur expérimenté sait remédier aux accidents bénins, résultant de l'inégalité de pression sur les deux faces du tympan, par la petite manœuvre qui consiste à s'aplatir le nez sur l'avant du casque tout en avalant sa salive les mâchoires serrées et à baïller ensuite.

Quant aux accidents graves, ils sont exceptionnels, si on interdit le métier de scaphandrier aux sujets qui ne présentent pas une intégrité parfaite de leur appareil auditif.

5° *Accidents de décompression:*

Ceux-ci sont de beaucoup les plus redoutables et sont d'autant plus graves:

- que la profondeur atteinte est grande;
- que le temps de séjour y est plus grand;
- que la remontée est rapide.

Mieux vaut prévenir les accidents de décompression qu'en les traiter, pour obtenir ce résultat, Paul Bert recommandait une décompression lente et graduelle, mais ses expériences dans ce sens ne furent pas heureuses, car il n'en avait pas complètement réalisé les conditions. La décompression lente et uniforme était et reste encore prescrite dans divers pays en dépit d'accidents fréquents lorsqu'on a affaire à des pressions supérieures de 1,5 atmosphères à la pression ordinaire.

La méthode employée actuellement en France, pour prévenir ces accidents, consiste à observer les règles scientifiquement établies par Haldane: elle prévoit des remontées par étapes, dont le nombre et la durée sont d'autant plus grands que la profondeur atteinte est elle-même plus grande et le séjour plus prolongé.

Le scaphandrier, à chaque arrêt, fait des mouvements de bras et de jambes, pour activer sa circulation et faciliter l'élimination de l'azote du sang au niveau des alvéoles pulmonaires; de plus, par des mouvements respiratoires amples et réguliers, il améliore sa ventilation pulmonaire et par suite la vitesse d'élimination de l'azote.

Lorsque de tels accidents apparaissent, il faut immédiatement envisager la récompression du sujet ; en effet, depuis déjà de longues années les ouvriers travaillant dans l'air comprimé, ont observé que les malaises ressentis étaient guéris par le retour en une telle atmosphère et ces faits ont été expliqués par les expériences de Paul Bert, observations qui ne furent toutefois pas très concluantes, l'illustre physiologiste n'ayant pu appliquer cette thérapeutique qu'à des cas extrêmes.

Les chambres de recompression médicale, pour le traitement des malaises de l'air comprimé, ont été imaginées par Sir Ernest Moir, lors de la construction du premier tunnel sous l'East River à New-York et du Blackwall Tunnel sous la Tamise vers 1890. Elles donnèrent des résultats remarquables, quand elles furent appliquées pour des troubles survenus après une décompression relativement lente, paralysies et crampes furent guéries même quand elles se produisaient assez longtemps après la décompression ; malheureusement de nombreux échecs furent observés, quand la recompression succédait à une décompression brutale, ayant provoqué des accidents immédiats.

Depuis lors, la chambre de recompression s'est imposée et est considérée actuellement comme un complé-

ment nécessaire pour tout travail sous des pressions supérieures à 1,5 atmosphères (caissons ou scaphandriers).

C'est ainsi que le bâtiment accompagnant les plongeurs sur leur lieu de travail, du moins si la profondeur est assez grande, est équipé en poste de secours complet : c'est-à-dire qu'il comporte un coffre à médicaments ; un appareil de respiration artificielle, un carboxygénateur afin de pouvoir instituer un traitement d'urgence des asphyxies accidentelles qui viennent au second rang, après les accidents de décompression, dans la pathologie du scaphandrier, et une chambre de recompression.

La chambre de recompression est constituée par un cylindre d'acier assez vaste pour contenir deux personnes au moins ; cette chambre est reliée par téléphone avec l'extérieur et ses parois comportent : des hublots qui permettent de voir ce qui s'y passe, et un petit sac par lequel on peut y faire pénétrer les objets nécessaires, sans être pour cela dans l'obligation de voir la pression intérieure ramenée à la pression atmosphérique.

Cette chambre a en réserve des vêtements de rechange, ainsi que le matériel nécessaire aux premiers soins. Elle est d'accès facile et précédée d'un espace libre suffisant pour permettre les manœuvres de brancardage et de ranimation, au moyen des appareils classiques de secours.

Dans la pratique, elle doit remplir les conditions suivantes :

1) *Compression*. — La pression intérieure doit pouvoir y être élevée, soit à l'aide d'un compresseur, soit

à l'aide de bouteilles d'air comprimé selon un régime très élastique depuis $1/5$ d'atmosphère à 1 atmosphère par minute jusqu'à la pression maximum du timbre qui devra être au moins de 4 kgs. Cela dans le but de pouvoir, au cours de la décompression, procéder, si besoin est, à des recompressions temporaires par fraction d'atmosphère.

2) *Décompression.* — Le sujet doit pouvoir y être décomprimé d'une manière très régulière et très lente en suivant exactement la table suivante proposée par M. le Professeur Héderer :

<i>Pression intér. du caisson</i>	<i>Vitesse de décompression</i>
Entre 4 et 3 atmosphères.	$1/15$ d'atmosph. par minute
Entre 3 et 2 atmosphères.	$1/15$ d'atmosph. par 3 min.
Entre 2 et 1 atmosphère .	$1/15$ d'atmosph. par 5 min.
Au-dessous de 1 atmosph.	$1/15$ d'atmosph. par 8 min.

Cette souplesse de la décompression est obtenue grâce à la présence, à l'extérieur et à l'intérieur de la chambre, de manodétendeurs dont le réglage se fait par des cadrans gradués en $1/15$ d'atmosphère. De cette façon la décompression peut être commandée de l'intérieur de la chambre par le médecin ou le secouriste qui assiste la victime, ou bien de l'extérieur quand elle s'y trouve seule.

3) *Ventilation.* — Les sujets séjournant depuis un long moment dans la chambre de recompression risquent d'y être incommodés par l'augmentation du taux de l'acide carbonique, l'élévation de la température et

le degré hygrométrique. Aussi il est indispensable de prévoir un dispositif de ventilation (pompe à bras ou réservoir d'air comprimé) permettant de maintenir la pression intérieure à un niveau constant, tandis que l'on manœuvre la soupape d'évacuation.

Oxygénation. — Si au cours de la plongée des accidents de décompression se manifestent, comment procéder ?

Lorsqu'on ne dispose pas immédiatement de chambre de recompression, une décision rapide s'impose : on relève le casque du plongeur et on le fait descendre sous l'eau jusqu'à disparition des symptômes qu'il présentait ; en général un sujet qui était sans connaissance, répond au téléphone presque aussitôt qu'il a été redescendu de cette manière ; il est toutefois prudent de le faire accompagner par un autre scaphandrier qui le surveille, car quand des bulles de dimension considérable se sont formées dans les tissus, leur dissolution demande un temps extrêmement long. Si on dispose d'une chambre de recompression, on procède de la façon suivante : le sujet est ramené d'emblée à un régime qui correspond à la moitié de la pression absolue sous laquelle il travaillait ; on l'y garde le plus possible en cherchant à atteindre 20 minutes, puis on le remonte à la surface, on ôte son casque et on place le sujet dans la chambre de recompression, on porte rapidement la pression à la moitié au moins de la pression absolue subie pendant la plongée. Ce n'est qu'alors que l'on songe à déshabiller le patient et à lui donner les soins qui peuvent être nécessaires. On procède ensuite à la décompression en se référant à la table précédente. Il est rare que le syndrome morbide ne se dissipe pas

comme par enchantement, en particulier disparaît la dyspnée prémonitoire, signal d'alarme bien connu. Il peut se faire que le sujet se trouve mal quand la pression tombe, il faut alors arrêter la décompression et au besoin comprimer à nouveau; quand le patient voit son malaise dissipé, on fait baisser la pression mais à une allure ralentie. Si la décompression terminée, se développent à nouveau des troubles, on est amené à reprendre, parfois à plusieurs reprises, le cycle des compressions et des détentes successives.

Lorsque les troubles sont très accusés, le sujet étant comprimé à 3 ou 4 atmosphères sans amélioration sensible, la pression est alors doublée, on a même parfois dû atteindre des pressions nettement plus élevées, à 9 atmosphères.

Il peut arriver que tous les symptômes s'aggravent pendant le début de la période de recompression; cela serait dû aux mouvements des bulles d'azote, qui diminuant de volume, peuvent alors se déplacer vers de nouvelles régions du système circulatoire. Ce n'est pas là une raison de cesser la recompression, comme les personnes non averties pourraient le croire, mais au contraire il faut faire monter la pression rapidement jusqu'à ce que les symptômes disparaissent ou s'améliorent.

Notons maintenant une autre utilisation de la chambre de recompression; en effet elle doit être considérée non pas seulement comme un organe de traitement mais surtout, au cours des travaux sous-marins qui nécessitent des plongées longues et fréquentes, comme un organe de protection.

En effet, plus la profondeur est grande, plus la durée de travail utile à cette profondeur est courte avec les scaphandres souples, la lecture de la table de plongée suffit pour s'en rendre compte.

Pour augmenter notablement le travail effectif du plongeur, il conviendrait de réduire au minimum le temps de remontée, ceci deviendra possible si l'on utilise systématiquement la chambre de recompression d'une manière préventive : le plongeur ramené à la surface par paliers raccourcis est immédiatement recomprimé dans la chambre jusqu'à la pression correspondant à la profondeur du travail, maintenu 5 à 10 minutes à cette pression, puis décomprimé suivant le barème de Haldane.

Lorsque pour une raison quelconque (malaise, avarie de matériel, mauvais temps...) le scaphandrier doit être remonté rapidement, on utilise de même la chambre de recompression afin de prévenir les accidents qui ne manqueraient pas de se produire et dont il ne faut en aucun cas attendre l'apparition, le traitement préventif du mal des plongées étant infiniment plus simple à conduire que le traitement curatif et donnant un pourcentage de succès très supérieur. D'où l'intérêt des chambres de recompression, qui permettent de traiter plusieurs sujets simultanément.

Il nous reste à dire un mot du traitement des séquelles des accidents de décompression, celui des paraplégies ne nous retiendra pas, car il ne se différencie aucunement du traitement des autres paraplégies spasmodiques. Quant aux lésions ostéo-articulaires à type d'arthrite déformante, si elles sont récentes, elles seront

traitées par le repos au lit, de façon à permettre le remaniement des zones nécrosées, sans que le poids du corps vienne compromettre cette régénération de l'os.

Si elles sont anciennes, il faudra instituer le traitement classique de l'arthrite déformante ; on pourra alors recourir soit au traitement médical, à la radiothérapie, soit au traitement chirurgical : forages, arthrodèses, résections arthroplastiques.

CONCLUSION

Etant donné : la solide formation professionnelle des scaphandriers de la Marine, la sélection médicale sévère qui se fait lors de l'admission dans cette spécialité, la surveillance médicale constante à laquelle ces hommes sont astreints, les règles strictes auxquelles la plongée est soumise dans ses différents temps, les garanties que présente le matériel employé, on peut dire que cette spécialité ne présente guère plus de danger, que les autres spécialités de la Marine et que les accidents ne se voient pratiquement pas ; ceux que l'on peut parfois observer sont en général imputables ou à la négligence du sujet qui ne s'est pas conformé aux règles de la plongée, ou à une circonstance matérielle imprévisible. Si toutefois un accident se produit, le scaphandrier se trouve dans les meilleures conditions possibles pour être traité ; en effet, le matériel susceptible d'être employé au traitement de tels accidents et la présence d'un médecin étant obligatoires sur les lieux de plongée quand cette dernière dépasse 35 mètres.

Le métier de scaphandrier est appelé à prendre un essor considérable pour permettre la remise en état des installations portuaires et les récupérations de divers ordres à bord des bâtiments coulés au cours de cette guerre et il n'est pas exagéré de prévoir dans un avenir proche le perfectionnement des appareils dont l'usage est presque limité jusqu'à ce jour au scaphandre souple.

TABLES

FIXANT SUIVANT LA PROFONDEUR ET LA DURÉE DE SÉJOUR SOUS L'EAU, LES ARRÊTS DURANT LA REMONTÉE ET LE TEMPS TOTAL DE CETTE REMONTÉE

Profondeurs	Temps passés sous l'eau jusqu'au début de la remontée	Arrêts en minutes aux différentes profondeurs mètres						Temps total de remontée minutes
		18	15	12	9	6	3	
mètres								
0 à 10.	Pas de limite	»	»	»	»	»	»	0 à 1
10 à 12.	Jusqu'à 3 heures	»	»	»	»	»	»	1 à 1 1/2
12 à 15.	Jusqu'à 1 heure	»	»	»	»	»	»	1 1/2
	1 heure à 3 heures....	»	»	»	»	»	5	6 1/2
15 à 16.	Jusqu'à 1/2 heure	»	»	»	»	»	»	2
	1/2 heure à 1 h. 1/2..	»	»	»	»	»	5	7
	1 h. 1/2 à 3 heures....	»	»	»	»	»	10	12
16 à 18.	Jusqu'à 20 minutes ..	»	»	»	»	»	»	2
	20 min. à 3/4 d'heure..	»	»	»	»	»	5	7
	3/4 d'heure à 1 h. 1/2.	»	»	»	»	»	10	12
	1 h. 1/2 à 2 heures....	»	»	»	»	4	10	16
	2 heures à 3 heures....	»	»	»	»	5	15	22
18 à 20.	Jusqu'à 15 minutes ..	»	»	»	»	»	»	2
	de 15 à 30 minutes....	»	»	»	»	»	5	7
	de 30 à 48 minutes....	»	»	»	»	2	8	12
	de 48 à 60 minutes....	»	»	»	»	3	10	15
	de 1 h. à 1 h. 1/2.....	»	»	»	»	4	13	19
	de 1 h. 1/2 à 2 heures.	»	»	»	»	5	15	22
	de 2 heures à 2 h. 1/2.	»	»	»	»	5	20	27
20 à 22.	Jusqu'à 15 minutes ..	»	»	»	»	»	2	4
	de 15 à 25 minutes....	»	»	»	»	2	4	8
	de 25 à 30 minutes....	»	»	»	»	3	5	10
	de 30 à 45 minutes....	»	»	»	»	4	9	15
	de 3/4 d'h. à 1 h. 1/2..	»	»	»	»	5	12	19
	de 1 heure à 1 h. 1/2..	»	»	»	»	8	16	26

Profondeurs mètres	Temps passés sous l'eau jusqu'au début de la remontée	Arrêts en minutes aux différentes profondeurs mètres						Temps total de remontée minutes
		18	15	12	9	6	3	
	de 1 h. 1/2 à 2 heures.	»	»	»	»	10	20	32
22 à 23,70.	Jusqu'à 10 minutes ..	»	»	»	»	»	3	5
	de 10 à 20 minutes....	»	»	»	»	»	5	7
	de 20 à 30 minutes....	»	»	»	»	3	8	13
	de 30 à 38 minutes....	»	»	»	»	4	12	18
	de 38 à 45 minutes....	»	»	»	»	5	15	22
	de 3/4 d'heure à 1 h...	»	»	»	»	8	16	26
	de 1 heure à 1 h. 1/4..	»	»	»	»	9	18	29
	de 1 h. 1/4 à 1 h. 1/2..	»	»	»	»	10	20	32
23,70 à 25,60.	Jusqu'à 10 minutes ...	»	»	»	»	»	3	5
	de 10 à 20 minutes....	»	»	»	»	»	5	7
	de 20 à 30 minutes....	»	»	»	»	3	8	13
	de 30 à 40 minutes....	»	»	»	»	4	13	19
	de 40 à 45 minutes....	»	»	»	»	5	15	22
	de 45 à 55 minutes....	»	»	»	»	8	16	26
	de 55 à 65 minutes....	»	»	»	»	9	18	29
	de 65 à 75 minutes....	»	»	»	»	10	20	32
25,60 à 27,40.	Jusqu'à 10 minutes ...	»	»	»	»	1	3	6
	de 10 à 20 minutes....	»	»	»	»	3	5	10
	de 20 à 30 minutes....	»	»	»	»	4	10	16
	de 30 à 40 minutes....	»	»	»	»	5	15	22
	40 à 50 minutes.....	»	»	»	2	7	15	26
	de 50 à 60 minutes....	»	»	»	3	10	15	30
27,40 à 29,20	Jusqu'à 10 minutes ...	»	»	»	»	1	3	7
	de 10 à 20 minutes....	»	»	»	»	3	5	11
	de 20 à 30 minutes....	»	»	»	»	5	11	18
	de 30 à 35 minutes....	»	»	»	»	5	15	22
	de 35 à 45 minutes....	»	»	»	2	8	15	27
	de 45 à 55 minutes....	»	»	»	5	10	15	32
29,20 à 32,80.	Jusqu'à 5 minutes	»	»	»	»	»	3	6
	de 5 à 10 minutes....	»	»	»	»	»	5	8
	de 10 à 15 minutes....	»	»	»	»	3	5	11
	de 15 à 20 minutes....	»	»	»	»	4	8	15
	de 20 à 25 minutes....	»	»	»	1	5	10	19
	de 25 à 30 minutes....	»	»	»	3	7	10	23
	de 30 à 35 minutes....	»	»	»	4	8	13	28
	de 35 à 40 minutes....	»	»	»	5	10	15	33
32,80 à 36,50.	Jusqu'à 5 minutes....	»	»	»	»	»	4	7
	de 5 à 10 minutes....	»	»	»	»	2	6	11
	de 10 à 15 minutes....	»	»	»	2	3	7	15
	de 15 à 20 minutes....	»	»	»	3	5	8	19

Profondeurs mètres	Temps passés sous l'eau jusqu'au début de la remontée	Arrêts en minutes aux différentes profondeurs mètres						Temps total de remontée minutes
		18	15	12	9	6	3	
	de 20 à 25 minutes....	»	»	»	5	8	10	26
	de 25 à 30 minutes....	»	»	»	5	10	12	30
	de 30 à 35 minutes....	»	»	»	5	10	15	33
36,50 à 40,20.	Jusqu'à 5 minutes	»	»	»	»	»	5	8
	de 5 à 10 minutes....	»	»	»	»	3	7	13
	de 10 à 15 minutes....	»	»	»	2	5	7	17
	de 15 à 20 minutes....	»	»	»	3	7	10	23
	de 20 à 25 minutes....	»	»	»	4	8	13	28
	de 25 à 30 minutes....	»	»	»	5	10	15	33
40,20 à 43,80.	Jusqu'à 6 minutes	»	»	»	»	2	5	10
	de 6 à 12 minutes....	»	»	»	3	5	5	16
	de 12 à 16 minutes....	»	»	»	4	7	7	21
	de 16 à 20 minutes....	»	»	1	4	8	10	26
	de 20 à 25 minutes....	»	»	2	5	10	12	32
43,80 à 47,50.	Jusqu'à 5 minutes	»	»	»	»	2	5	10
	de 5 à 10 minutes....	»	»	»	3	5	5	16
	de 10 à 15 minutes....	»	»	1	4	7	8	23
	de 15 à 20 minutes....	»	2	3	5	8	10	31
47,50 à 51,30.	Jusqu'à 5 minutes....	»	»	»	»	2	5	10
	de 5 à 10 minutes....	»	»	2	3	5	5	18
	de 10 à 13 minutes....	»	1	2	4	6	8	24
	de 13 à 16 minutes....	»	2	3	5	7	10	30
51,30 à 54,70.	Jusqu'à 5 minutes	»	»	»	»	3	5	11
	de 5 à 9 minutes....	»	»	2	3	5	5	18
	de 9 à 12 minutes....	»	»	3	4	6	8	24
	de 12 à 14 minutes....	»	2	3	5	7	10	30
54,70 à 58,50.	Jusqu'à 5 minutes	»	»	»	1	3	5	12
	de 5 à 10 minutes....	»	1	2	3	6	8	23
	de 10 à 13 minutes....	»	2	3	5	7	10	30
58,50 à 62.	Jusqu'à 7 minutes....	»	2	2	3	5	5	20
	de 7 à 12 minutes....	2	2	3	5	7	10	32

Nota. — Sauf urgence absolue, le même scaphandrier ne devra pas effectuer deux plongées successives à de grandes profondeurs. Si, toutefois, ces descentes répétées étaient imposées par les circonstances, le temps de montée, après la deuxième descente serait calculé non seulement d'après les profondeurs atteintes, mais du point de vue du temps passé sous l'eau, en considérant la deuxième plongée comme ayant eu une durée égale à la somme des deux plongées successives.

Hors le cas d'urgence absolue, l'intervalle entre les deux seules plongées permises, dans une même journée, aux profondeurs supérieures à 22 mètres, devra être au minimum de 5 heures.

BIBLIOGRAPHIE

Nous n'avons pas l'intention de publier une bibliographie complète sur la question. Nous ne citons que les travaux que nous avons utilisés.

ADAMS (B.-H.). — Observations sur l'entraînement au poumon sous-marin. *An. Méd. Nav.*, août-septembre 1932.

ANNEMARD. — Le scaphandre autonome réalisé par un ingénieur français. *La Science et la Vie*, septembre 1924.

ARMSTRONG (H.-G.). — Principles and Practice of Aviation Medicine. London, Baillière, Tyndal and Cox, 1939.

AZCARRAGA. — La technique moderne du scaphandre. *Rivista General de Marino*, 2.31, p. 225.

— Technique des scaphandriers. *Ingen. Y. Construcción* II. 31. Vg. p. 662.

BARBE. — Paraplégies chez les plongeurs. *Arch. de Méd.*, nov. 1900.

BASSOE PETER. — *Journ. Nerv. and Ment. Diseases* 1911, 38,368.

— *The American Journ. of the Med. Science* 1913, 145,526.

BELLONI. — Sur l'application pratique du capuchon Belloni. *Riv. Mar.* 6.30, p. 35.

BERT (Paul). — La pression barométrique. Paris, G. Masson, 1878.

- BÖRSTEIN et PLATE. — Sur les arthrites chroniques au cours de la maladie des caissons. *Fortschr. auf dem Geb. der Roentgen-strahlen* 1911-1912, 18.197.
- BROWN (E.-W.). — Shock dû à la distension excessive des poumons au cours de l'entraînement avec l'appareil de sauvetage. *An. Méd. Nav.*, août-septembre 1932.
- La machine humaine dans les plongées à grande profondeur des scaphandriers. *U. St. Nav. Inst. Pro.* 6.37, p. 822.
- CAZAMIAN. — Hygiène et prophylaxie dans la Marine de combat. Vigot Frères, Paris, 1932.
- Hematomyélie par décompression brusque chez un scaphandrier. *Arch. Méd. Nav.*, 1912.
- Le sauvetage du personnel des submersibles naufragés. *Revue Maritime*, 1935, page 721.
- *Arch. Méd. Nav.*, 1927, I, p. 105.
- CHRIST ANDREAS. — Sur la maladie des caissons avec description spéciale d'une maladie typique de la hanche. *Deutsche Zeitschrift für chirurgie*, 1934, vol. 243-132.
- CUNIBERTI (A.). — Le scaphandre pour grandes profondeurs et son emploi. *Riv. Mar.* 9.29, p. 205.
- DAMANT. — Plongées des scaphandriers à grande profondeur. *U. Roy U. 5. Im.* 5.37. V. 82.
- DE LA MARNIÈRE et SALAUN. — Complications osseuses et articulaires de la maladie des caissons. *Journal de Chirurgie*, 1941, 57, n° 1, 40-49.
- DESALLE. — La pathologie du scaphandrier. *Presse Médicale*, 15 décembre 1937, p. 1810.

- ESTIENNE. — Accidents labyrinthiques par air comprimé. Thèse Paris, 1933.
- FONSSAGRIVES. — Traité d'Hygiène Navale.
- HEDERER. — Le scaphandre autonome Draeger D. M. 40. Bach et Cie, 1936.
- HEDERER et ANDRE. — De l'intoxication par les hautes pressions d'oxygène. Académie de Médecine, 9 avril 1940.
- HEMARDINQUER. — Le scaphandre pour la navigation stratosphérique. *La Nature*, 1:9.35, n° 2960, p. 201.
- JOHNSON. — Toxicité de l'oxygène. *Arch Méd. Nav.* n° 3.
- KARLSTROM, BURTON et PHEMISTER. — Nécrose aseptique des os. Infractus des os dans la maladie des caissons aboutissant à la formation de plaques encapsulées et calcifiées, et au niveau des articulations à l'arthrite déformante. *Surg. Gyn. Obst.* 1^{er} février 1939, vol. 68, n° 2, 129-146.
- LALLEMAND et VILLIERS. — Cuve pour entraînement des équipages avec l'appareil Davis. *Riv. Mar.* 4.32, p. 13.
- Expériences de plongée en scaphandres à 90 m. *Riv. Mar.* 4.32, p. 14.
- Scaphandre pour grande profondeur. *Riv Mar.* 5.32, p. 34.
- LANGELEZ. — Maladies du travail en air comprimé. *Presse Médicale*, 21 oct. 1936, p. 1659.
- LEFÈVRE (Am.). — Observations sur les plongeurs. Paris, 1835, p. 79.
- LEPINE. — Etude sur les hématomyélies. Thèse Lyon, 1900.

LEROY DE MERICOURT. — Considérations sur l'hygiène des pêcheurs d'éponge. *Ann. d'Hyg. Pub.* 1869, t. xxxi, p. 274.

— Note sur les nouveaux appareils respiratoires destinés à permettre de séjourner dans les milieux irrespirables. *Arch. de Méd. Nav.*, t. iii, p. 234.

MAC CLATCHIE (L. K.). — Considérations médicales sur l'entraînement à l'emploi du poumon sous-marin. *United State Naval Medical Bulletin*, avril 1932.

MANVAL (J.). — Pour le travail sous-marin, voici des dispositifs nouveaux. *Science et Vie*, 6-37, n° 240.

MAURELLI (C.). — Normes de sécurité du travail dans les caissons à air comprimé pour fondations. *Securitas*, 12.35. V 22.

MAZEL, ROBIN et PECHOUX. — Expertise médico-légale dans la maladie des caissons. *S. de Méd. Lyon*, nov. 1933.

MICHEL. — Etude sur la nature et la cause présumée des accidents survenus parmi les ouvriers qui travaillent aux fondations à l'air comprimé à Missiessy. *Arc. Méd. Nav.* 1880.

MOUCHET, (Albert) et MOUCHET (Alain). — Lésions des os et des articulations dans la maladie des caissons. *Presse Médicale*, 18-21 juin 1941.

MORRISSON (T.-J.-K.). — La décompression des sca-phandriers. *United States Naval Institute Proceedings*, 12-1933.

OLIVER. — Compressed air illness or caisson disease. *An. d'Hyg. Publ et de Méd. Lég.* 1906, n° 5, p. 385.

PLATE ERICH. — Sur un cas d'arthrite déformante de la hanche causée par l'action de la pression d'air avec considérations sur l'apparition de pareilles maladies. *Arch. f. Orthop. und Unf Chir.* 1928, 26, 201-217.

RUYSSEN. — Les travailleurs des caissons à air comprimé. *Ann. Méd. Lég.* 1934.

SEIFERT. — Arthrite de la hanche. *Zentralbl. f. Chir.* 1936, n° 39, 2318-2321.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	9
CHAPITRE I. — <i>Rappel physiologique</i>	10
CHAPITRE II. — <i>Utilisation des scaphandriers</i>	15
CHAPITRE III. — <i>Personnel</i>	18
1° Equipages de la Flotte	18
2° Direction du Port	20
3° Arsenaux et Travaux Maritimes	21
CHAPITRE IV. — <i>Fonctionnement de l'Ecole des scaphandriers</i>	22
CHAPITRE V. — <i>Appareils</i>	29
1° Appareil Rouquayrol-Denayrousse	30
2° Appareils autonomes	35
a) Appareil Boutan	35
b) Appareil Draeger	38
c) Appareil Davis	42
d) Appareils ayant fait l'objet d'études	43
3° Superscaphandre ou scaphandre de grande profondeur	45

CHAPITRE VI. — <i>La plongée et ses accidents</i>	48
1° La plongée	48
2° Accidents et incidents	51
a) Effets de l'air comprimé sur l'orga- nisme	51
b) Compression du scaphandrier ou « Squeeze »	53
c) Asphyxie	54
d) Accidents auriculaires	56
e) Ballon	57
f) Accidents de décompression	57
CHAPITRE VII. — <i>Prophylaxie et traitement des accidents</i>	63
CONCLUSION	73
<i>Tables fixant la profondeur et la durée du séjour sous l'eau, les arrêts durant la remontée et le temps total de cette remontée</i>	75, 76 77
BIBLIOGRAPHIE	79

SERMENT

En présence des Maîtres de cette Ecole, de mes chers condisciples, et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l'Etre suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine. Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent, et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe; ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime. Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

En ma qualité de Censeur de
tour, j'ai lu la Thèse ayant pour
titre:

**Considérations
sur les scaphandriers de la marine.**

par CLOATRE (Charles)

Je pense que la Faculté peut en
permettre l'impression.

Montpellier, le 1^{er} juin 1943.

Le Professeur:
CARRIEU.

Vu:
Montpellier, le 1^{er} juin 1943.

Le Doyen:
G. GIRAUD.

Vu et permis d'imprimer:
Montpellier, le 2 juin 1943.

Le Recteur:
Jean SARRAILH.

La Faculté de Médecine de Montpellier déclare que les opinions
émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être
considérées comme propres à leur auteur; qu'elle n'entend leur
donner ni approbation ni improbation.

